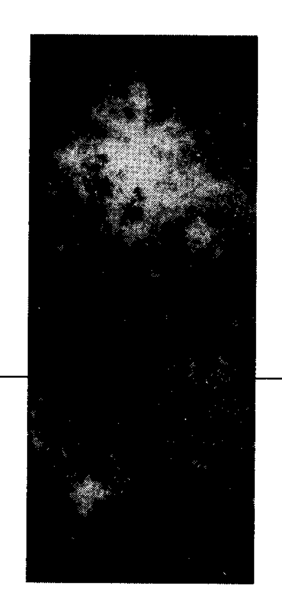
المقدمة:
المشهد الكوني



ما أغرب حالَنا هنا على الأرض نحن البشر: حلَّ كلٌّ منّا في زيارةٍ قصيرةٍ لا يعرف لها سبباً، ومع ذلك يبدو أحياناً أنه يتحرّى لذلك هدفاً.

ألبرت أينشتاين (1879 ـ 1955)

في ليلةٍ صافيةٍ سماؤها حالكة الظُّلمة، تستطيع أن ترى بعينك المجرَّدة نحواً من ألفَيْ نجم، كما تستطيع أن تنظر تريليونات الكيلومترات في أعماق الفضاء لتمعن النظرَ آلافَ السنين في الماضي السحيق.

قد تتساءل وأنت ترعى النجوم: ماذا تعني السماءُ المرصَّعةُ بالنجوم؟ وما موقعي أنا في هذا الكون الرحيب؟ والحقُّ أنك لستَ وحدك مَنْ يتساءل؛ فطالما افتُتِنَ الناسُ بروعةِ السماء وحاروا بغموضها.

ولئن كان الفلكُ أقدمَ العلوم، فهو في الوقت نفسه أحدثُها؛ وفي حين تتحقَّق اليومَ اكتشافاتٌ مثيرةٌ باستعمال أعقد الأدوات والتقنيات، يفلح الشُّداة المثابرون من الفلكيين في تقديم إسهاماتٍ مهمّةٍ كذلك.

يُعنى هذا الكتاب بتعليمك المفاهيمَ الأساسية لعلم الفلك واستكشاف الفضاء. وسترى أنك تستمتع أكثر فأكثر برصد النجوم مع تنامي معرفتك وإدراكك، وأنك غَدَوْتَ أقدر على تصفُّح وِبْ لمطالعة المزيد عن الموضوعات الفلكية التي تستهويك بدءاً من علم الفلك القديم، ووصولاً إلى أحدث النظريات الفلكية والرحلات الفضائية.

يحسن، في أثناء دراستك، أن ترجع دوماً إلى:

الخرائط النجمية، وخريطة القمر، المثبتة في نهاية الكتاب، وهي خرائط خاصةٌ سهلة القراءة تساعدك على تحديد أجرام السماء الهامة وتعرُّفها. ويمكنك كذلك القيام ببعض الأنشطة البسيطة لتمثيل فكرةٍ أساسيةٍ تمثيلاً عملياً.

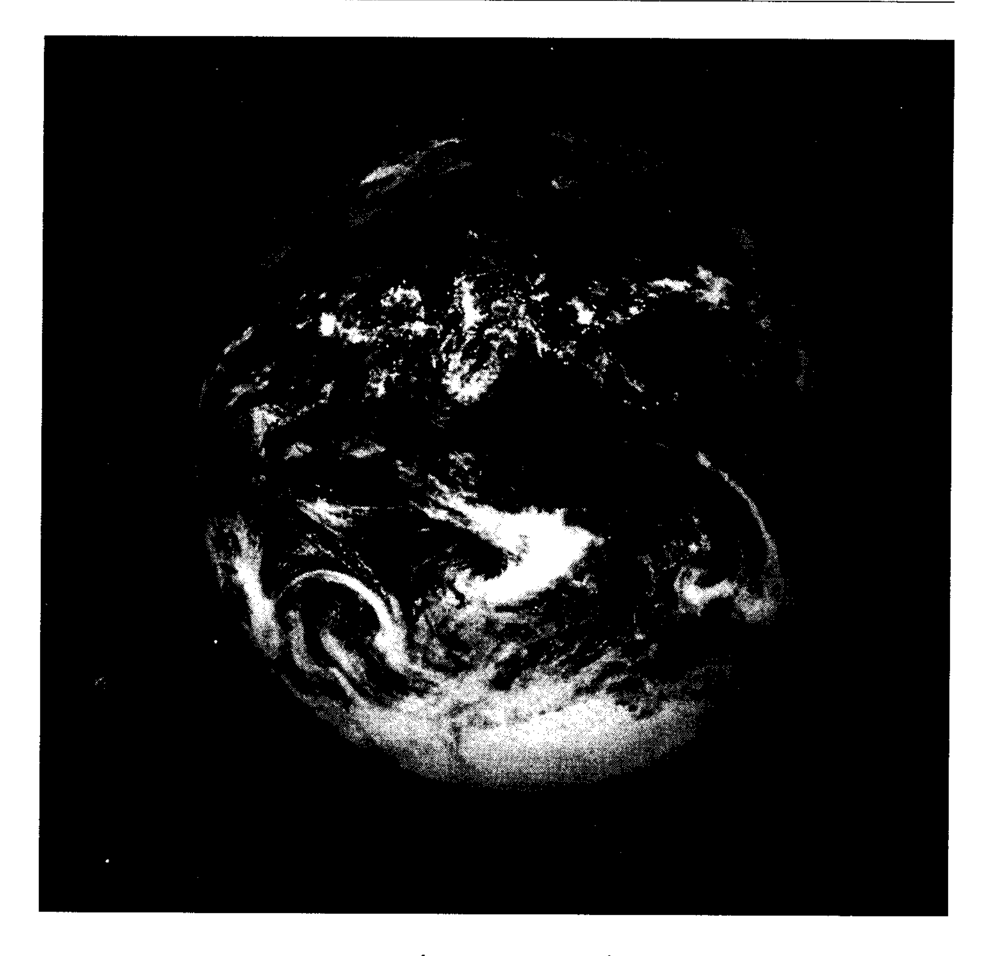
هيا انطلِقِ الآنَ في توسيع آفاق تفكيرك بدراسة المنظومات العظيمة للفضاء والزمن، وهو ما نسميه الكون.

إن الأرضَ منْزلنا ومأوانا، وهي كرةٌ صخرية يبلغ قطرها نحواً من 13،000 كيلومتر (8000 ميل)، عائمة في لُجّ المكان-الزمان اللانهائي (الشكل م.1).

وينتمي كوكب الأرض إلى المنظومة الشمسية[1] solar system (الشكل م.2) التي تتألف من نجم واحد ـ هو الشمس ـ وتسعة كواكب معروفة، مع أقمارها وكويكباتها ومذنَّباتها وجسيماتها الغبارية، وتطوف كلُّها جميعاً حول الشمس. ويبلغ قطر كامل المنظومة الشمسية زهاء 12 مليار كيلومتر (8 مليارات ميل).

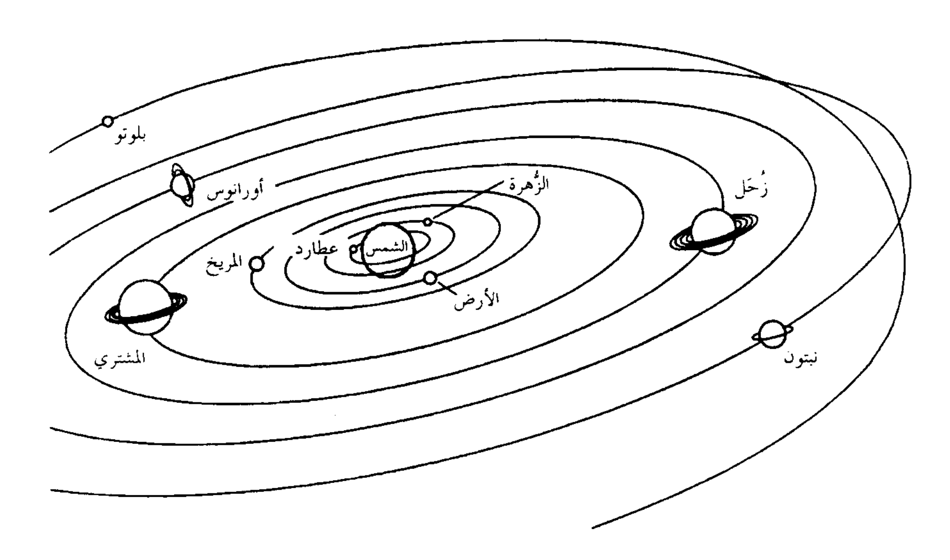
تقع الشمس والمنظومة الشمسية في إحدى الأذرع اللولبية العظيمة

(1) سأعتمد تعبير «المنظومة الشمسية» في الغالب ترجمةً لعبارة solar system، التي تسمى أيضاً: المجموعة الشمسية، والنظام الشمسي. (المعرب)



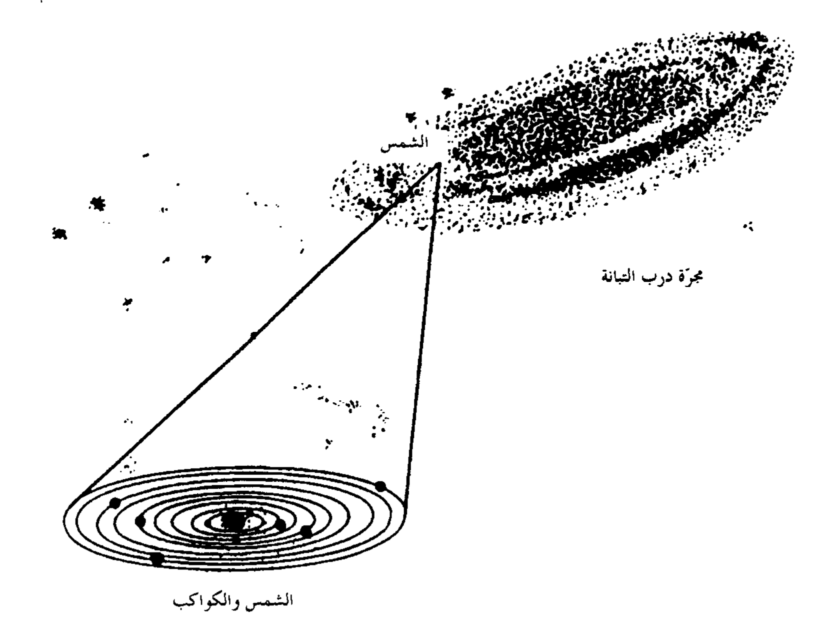
الشكل م.1 صورةٌ للأرض ملتقَطةٌ من الفضاء. لاحظْ ضياءَ الشمس يُظهِر -بصورة مثيرة- المحيطات الزرقاء، والامتدادات الأرضية البنّية الضاربة إلى الحمرة، والسُّحُبَ البيضاء الممتدة من منطقة البحر المتوسط إلى القلنسوة الجليدية للقارّة القطبية الجنوبية.

لمجرّة درب التبانة Milky Way Galaxy (الشكل م.3). وتضمُّ مجرَّتنا الهائلة هذه ما يزيد على 200 مليار نجم، إضافةً إلى غازٍ وغبارٍ بَيْنَجمي interstellar، جميعها يدور حول المركز، علماً بأن قطر مجرَّة درب التبانة يناهز 100،000سنة ضوئية. (1 سنة ضوئية = 10 تريليونات كيلومتر أو 6 تريليونات ميل تقريباً).

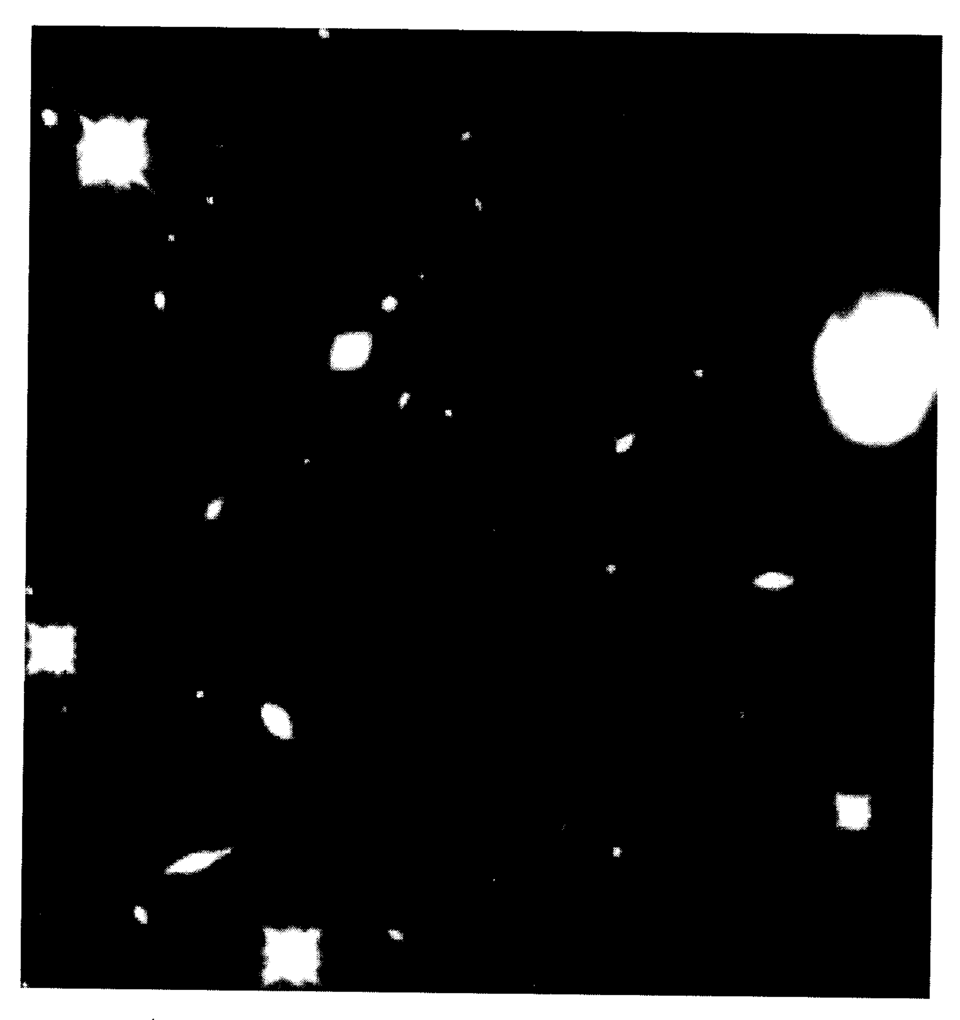


الشكل م.2 المنظومة الشمسية. (الرسم ليس وفقاً لمقياسٍ معيَّن).

وليست مجرّة درب التبانة إلا واحدةً من مليارات المجرّات الواقعة عند حافَة الكون المرصود، وتبعد عنّا قرابة 15 مليار سنة ضوئية (الشكل م.4)



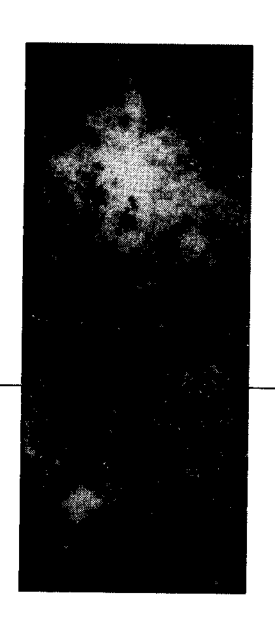
الشكل م.3 موقع المنظومة الشمسية في مجرّة درب التبانة.



الشكل م.4 مئات المجرّات النائية ضمن رقعةٍ صغيرة من السماء في كوكبة الطُّوقان **Tucana** تضمُّ كلُّ مجرّة مليارات النجوم.

1

إدراك حقيقة السماء المرصَّعة بالنجوم



الأفق كأس فوقَنا مقلوبــةٌ   كم تحتها خُدِعَ اللبيبُ الأحزمُ
لا ترتجي يا نفس منها موئلاً   فمآلهــا نحــو الفنــاء محتــمُ

رباعيات عمر الخيَّام (1048 ـ 1131)

الأهداف:

- تحديد مواقع الأجرام السماوية عن طريق مَطْلَعها المستقيم ومَيْلها على الكرة السماوية.
- تعرُّف بعض النجوم الساطعة والكوكبات النجمية التي تُرى في كلِّ فصلٍ من فصول السنة.
- تفسير ما يبدو من أن النجوم تتحرك على مساراتٍ قوسية الشكل في السماء ليلاً.
- تفسير ظهور بروجٍ مختلفةٍ في السماء في كل فصلٍ من فصول السنة.
- تعليل الحركات الظاهرية اليومية والسنوية للشمس.
- تعريف دائرة البروج.

- وصف مظهر السماء المرصَّعة بالنجوم عند رؤيتها من خطوط عرض مختلفةٍ على الأرض.
- تعريف اليوم النجمي واليوم الشمسي، وبيان سبب اختلافهما.
- بيان طرائق علماء الفلك في تصنيف الأجرام السماوية وفقاً لسطوعها الظاهري (لأقدارها).
- تفسير سبب تغيُّر نجم القطب وموقع الاعتدال الربيعي على مدى آلاف السنين.

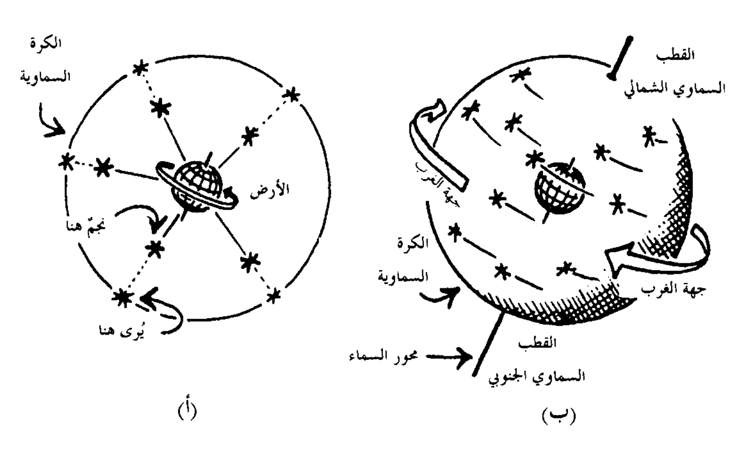
1.1 المشهد كما يراه الراصد:

في ليلةٍ صافيةٍ وحالكة تبدو السماءُ كقبةٍ عملاقة مرصَّعة بالنجوم، فندرك دون عناء لماذا كان الأقدمون يعتقدون أن السماء بنجومها كرةٌ هائلةٌ تدور حول الأرض.

ونحن نعلم اليوم أن النجوم نائية، وأن الشموسَ المتَّقدة تنطلق بأقصى سرعة عبر الفضاء على مسافاتٍ مختلفة من الأرض، وأن الأرض تدور rotate يومياً حول محورها axis (وهو الخط الوهمي الواصل بين القطبين الشمالي والجنوبي عبر مركزها).

لكن صورة السماء على أنها كرة هائلة الحجم جوفاء تحوي النجوم وتدور حول الأرض مازالت مفيدة حتى اليوم. يطلق الفلكيون على هذه الصورة المفترضة للسماء اسم الكرة السماوية celestial sphere. (كلمة celestial مشتقة من كلمة لاتينية تعني السماء).

يستعين الفلكيون بالكرة السماوية لتحديد مواقع النجوم والمجرّات، ورسم مسارات الشمس والقمر والكواكب طوال العام. فعندما تنظر إلى النجوم تخيَّلْ نفسك داخلَ الكرة السماوية تنظر نحو الخارج (الشكل 1.1).



الشكل 1.1 (أ) تبدو نجوم السماء، لراصد على الأرض، على درجةٍ واحدة من البُعد عنه. (ب) نتمثَّل النجومَ ثابتةً على كرةٍ سماوية دوّامة نحو جهة الغرب يومياً (أي خلافاً لاتجاه الدوران الفعلي للأرض على محورها).

لماذا تبدو النجوم على الكرة السماوية متحرّكةً ليلاً عند رصدها من الأرض؟ ....

....

الجواب: لأن الأرض تدور على محورها داخل الكرة السماوية.

2.1 البروج (الكوكبات) ✪

من الممتع فعلاً ـ بعد شيء من الدربة ـ أن تخرج لترقب السماء وترى نجماً فتيّاً أبيض مائلاً إلى الزرقة، أو نجماً عملاقاً أحمر مندثراً. وقد لا تعتقد في نفسك القدرةَ على تمييز نجمٍ من نجمٍ باديءَ الأمر، إلا أنك ستفعل بالتأكيد.

والخرائط النجمية القابلة للنّزع، المثبتة في آخر هذا الكتاب، وُضِعتْ خِصِّيصَى للفلكيين المبتدئين الذين يرصدون قريباً من خط العرض 40°

شمالاً. (إنها مفيدة لرعاة السماء الأغرّة على خطوط العرض المتوسطة لنصف الكرة الشمالي).

تَظهر النجومُ وكأنها تنتمي إلى مجموعات تؤلِّف نماذجَ متميِّزةً في السماء. تسمى هذه النماذجُ النجمية بروجاً أو كوكبات constellations. واعلمْ أن تدرُّبك على تعيين أشْهَر البروج يعينك على تمييز نجومٍ فرادى فيها.

والبروج الثمانية والثمانون التي أقرَّها رسمياً الاتحادُ الفلكي الدولي International Astronomical Union مدرَجةٌ في الملحق رقم 1. وتَعرض الصُّورُ النجميةُ أشهَرَ البروج المتألقة في خطوط العرض هذه، مع الإشارة إلى أن أسماءها اللاتينية وأسماء المجموعات النجمية asterisms غير الرسمية الشائعة مثبتةٌ بحروفٍ كبيرة مميزة.

وقد أطلق الناسُ منذ آلاف السنين على البروج بعضَ أسماء الحيوانات كالأسد Leo (الشكل 2.1)، أو أسماء شخصياتٍ أسطورية كالصياد الجبار Orion (انظر الشكل 1.5). هذا وقد بلغ عدد البروج التي عرفها قدماء الإغريق منذ ما ينوف على ألفَيْ سنة خلت ثمانيةً وأربعين برجاً.

أما اليوم فيَستعمل علماءُ الفلك الأسماءَ التاريخية للبروج بغية الإشارة إلى 88 جزءاً من السماء، بدلاً من الأسماء الأسطورية القديمة. وهم يستعينون بأسماء البروج لتحديد مواقع الأجرام؛ فقولهم مثلاً إن كوكب المريخ في برج الأسد يساعد على تحديد موقع ذلك الكوكب، تماماً كما القول بأن مدينة هيوستن هي في ولاية تكساس يساعد على تحديد موقع تلك المدينة.

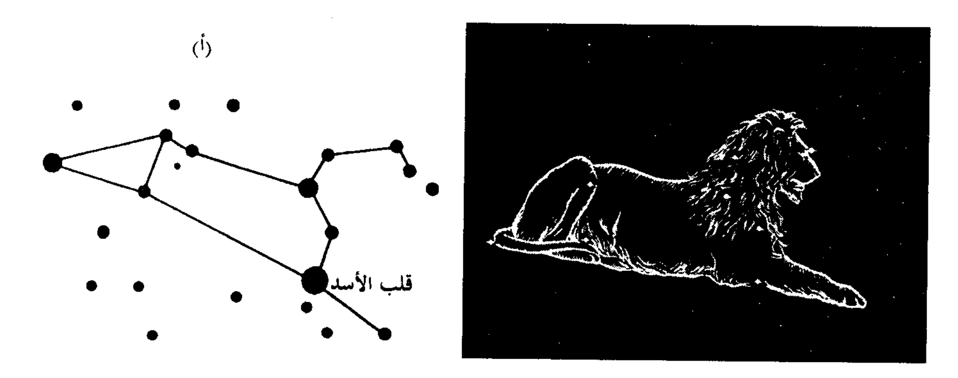
انظر في خرائطك النجمية ولاحظ أن الخط المتقطِّع يشير إلى فلك البروج ecliptic، وهو المسار الظاهري للشمس حيال نجوم الخلفية. إن البروج الاثني عشر الواقعة حول فلك البروج تؤلِّف دائرة البروج المألوفة

أسماؤها لمن يقرأون الطالع.

اذكر أسماء البروج الاثني عشر[1] ....

....

الجواب: الحوت، الحَمَل، الثور، الجوزاء (التوأمان)، السرطان، الأسد، العذراء (السنبلة)، الميزان، العقرب، القوس (الرامي)، الجدي، الدَّلو.



الشكل 2.1 يُرى برجُ الأسد أوضحَ ما يكون في أوائل الربيع عندما يكون في كبد السماء. (أ) أسطع نجومه Regulus (قلبُ الأسد) يدل على موقع القلب منه، في حين تصوِّر النجومُ الستة التي تؤلِّف شكلاً منجلياً لِبْدَته، ومثلَّثُ النجوم جزءه الخلفي وذيله. (ب) الأسد.

(1) جُمعت أسماء البروج في هذين البيتين اللطيفين:

حَمَلَ الثورُ جوزةَ السرطانِ ورعى الليثُ سنبلَ الميزانِ
ورمى عقربٌ بقوسٍ لجديٍ نزحَ الدلوُ بِرْكَةَ الحيتـــانِ (المعرِّب)

3.1 البروج حول القطبين ✪

تَفحَّص خرائطَك النجمية بدقة، لتلاحظ وجود عدة بروجٍ حول ـ قطبية circumpolar constellations على الخرائط الأربع، قريباً من القُطب السماوي الشمالي (موسومة هكذا: +POLE).

إنها بروجٌ حول القطب الشمالي north circumpolar constellations، تظهر فوق الأفق الشمالي طوال السنة قريباً من خط العرض °40 شمالاً (الشكل 3.1). ويلاحظ عند خط العرض هذا أن القطبَ السماوي الجنوبي وما يجاوره من البروج حول القطب الجنوبي south circumpolar constellations لا ترتفع فوق الأفق في أي ليلةٍ من السنة.

اذكر البروج حول ـ القطبية الثلاثة التي هي أقرب إلى نجم القطب Polaris، وارسم معالمها الخارجية ....

....

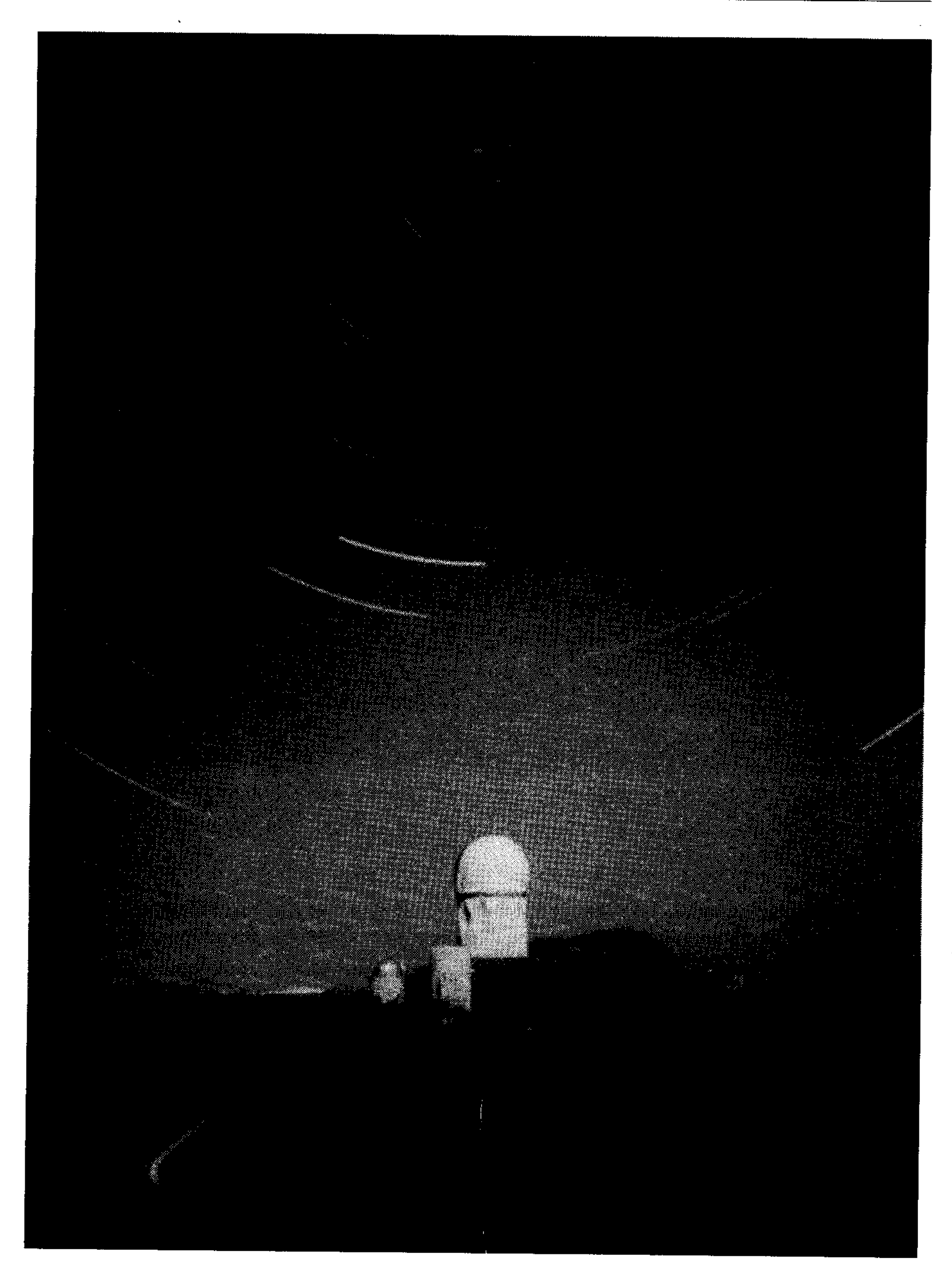
....

....

الجواب: البروج حول ـ القطبية الثلاثة التي ستتمكن من تبيُّنها على الخرائط النجمية هي ذات الكرسي Cassiopeia وقيفاوس Cepheus والدب الأصغر Ursa Minor. حاول ـ بعد أن تعرف حدودها الخارجية ـ العثور عليها في السماء فوق الأفق الشمالي. ملاحظة: عند خط العرض °40 شمالاً أو أعلى من ذلك يكون برجا الدب الأكبر Ursa Major والتنّين Draco حول القطب أيضاً.

4.1 كيف تستعمل الخرائط النجمية ✪

يمكنك استعمال الخرائط النجمية في منطقةٍ مكشوفة لتعرُّف البروج والنجوم التي تراها في السماء ليلاً، وتحديد مواقع ما تريد رصده منها.



الشكل 3.1 صورة ملتقطة بطريقة التعريض الزمني، بتوجيه المصوِّرة إلى القطب السماوي الشمالي فوق مرصد كيت بيك **Kitt Peak** الوطني في الولايات المتحدة. تظهر آثار مسارات النجوم التي تدل على الدوران الفعلي للأرض.

اخترْ الخريطة التي تصوِّر السماءَ في الشهر والوقت الذي ترصد أنت فيهما. اقلب الخريطة بحيث يظهر اسم الاتجاه البوصلي المقابل لك في قاعدة الخريطة. ستجد بعد ذلك أن خريطتك النجمية تعطيك صورةَ السماء، من القاعدة إلى المركز، كما تراها أنت من خط أفقك إلى النقطة الواقعة فوق رأسك مباشرة [على الكرة السماوية].

فإذا كان مكانُ وجودك مقابلاً جهة الشَّمال عند الساعة العاشرة ليلاً أوائلَ شهر نيسان (أبريل) مثلاً، فاقلب الخريطة بحيث تكون كلمة NORTH (الشَّمال) عند القاعدة. قد تتمكن الآن من أن ترصد ـ اعتباراً من الأفق ونحو الأعلى ـ بروجَ ذات الكرسي وقيفاوس ومجموعة الدب الأصغر (في كوكبة الدب الأصغر)، ومجموعة الدب الأكبر (في كوكبة الدب الأكبر).

سمِّ برجاً معروفاً يسطع جهةَ الجنوب قرابة الساعة الثامنة ليلاً في مستهل شهر شباط (فبراير) ....

الجواب: الجبّار.

5.1 كيف تتعرَّف البروج ✪

تتراءى البروجُ الواقعة فوق الأفق الجنوبي في الليل، وتتغيَّر بتغيُّر فصول السنة. اقلب كل خريطة بحيث تكون الكلمة SOUTH (الجنوب) عند القاعدة. استعمل خرائطك النجمية لتعرُّف أشهَرِ البروج التي تسطع في كل فصل (مثل برج الأسد في الربيع وبرج الجبار في الشتاء).

تعرَّفْ ثلاثة بروجٍ يمكن رؤيتها هذا الفصل، وعبِّر عنها برسوم تخطيطية ....

....

....

الجواب: تتوقف إجابتك على الفصل الذي أنت فيه؛ فإذا كنتَ تقرأ الكتاب في فصل الربيع مثلاً فقد يقع اختيارك على بروج الأسد والعذراء والعَوَّاء.

6.1 أسماء النجوم ✪

أطلق القدماءُ على أكثر من 50 من أسْطَع نجوم السماء أسماءً عربيةً ويونانيةً ولاتينية. وأنت تجد أسماء النجوم الساطعة أو المعروفة مطبوعةً على خرائطك النجمية بحروفٍ استهلالية كبيرة.

يستعمل الفلكيون اليوم حروفاً وأرقاماً لتعريف مئات آلاف النجوم، فيشيرون إلى أسطع النجوم في برجٍ ما بحرفٍ يوناني مقروناً باسم الكوكبة اللاتيني بصيغة الإضافة أو النسبة. وقد جرت العادة على أن يُرمز لأسطع النجوم في كوكبةٍ ما بالرمز اليوناني α (ألفا)، وإلى الذي يليه سطوعاً بالرمز β(بيتا)، وهكذا. (انظر الأبجدية اليونانية في الملحق رقم 3). وهكذا يشار إلى نجم قلب الأسد Regulus باسم α Leonis، أو أسطع نجوم كوكبة الأسد. أما أضعف النجوم سطوعاً (وهي غير مدرجةٍ في الخرائط) فتُعرف بأرقامٍ خاصة في الفهارس النجمية الدليلة.

هذا ولا يمكنك في المدن المكتظّة أن ترى سوى أسطع النجوم؛ فإذا ابتعدتَ عن أضواء المدينة وأبنيتها وكانت السماءُ حالكةً وصافية، تمكّنتَ من رؤية زهاء 2000 نجم بعينك المجرَّدة.

بالرجوع إلى خريطة السماء في الصيف، سمِّ النجومَ الثلاثة الساطعة التي تعيِّن رؤوسَ المثلث الصيفي Summer Triangle المعروف ....

....

الجواب: النسر الواقع Vega وذَنَب الدجاجة Deneb والنسر الطائر Altair. ابحثْ عن المثلث الصيفي في السماء صيفاً.

7.1 السطوع ✪

تبدو بعضُ النجوم في السماء أسطعَ من بعضها الآخر. إن القَدْر الظاهري apparent magnitude لجِرم سماوي هو معيار سطوعه الملحوظ من الأرض، فقد تبدو النجوم ساطعةً لأنها تُصْدِر كمّاً كبيراً من الضوء، أو بسبب قربها من الأرض نسبياً.

في القرن الثاني قبل الميلاد قام الفلكي الإغريقي هيپارخوس Hipparchus بتقسيم النجوم المرئية إلى ستة أصناف، أو أقدار، تبعاً لدرجة سطوعها النسبي، فرقَّم الأقدار من 1 (الأكثر سطوعاً) إلى 6 (الأقل سطوعاً).

ويعتمد الفلكيون اليومَ صيغةً أكثر دقّةً لنظام التصنيف القديم؛ فبدلاً من تقدير درجة السطوع بالعين المجرَّدة يستعملون جهازاً يسمى المضواء أو مقياس الضوء photometer لقياس درجة السطوع. ويذكر أن أقدار أسطع النجوم سلبية: فَقَدْرُ أسطع نجم ليلي، وهو الشِّعرى اليمانية Sirius، هو 1,46-. وتراوِح الأقدار بين 26,72- للشمس وقرابة 28+ لأخفت الأجرام المرصودة بالمقاريب الكبيرة، علماً بأن فارق قَدْرٍ واحد يعني نسبةَ سطوعٍ تقارب 2,5.

إن الأقدار مدوَّنةٌ على الخرائط النجمية وفي الجدول 1.1. فمثلاً نحن نستقبل من نجم النسر الواقع Vega، وقدره 0، قدراً من الضوء أكبر بنحو 2,5 مرتين مما نستقبله من نجم ذَنَب الدجاجة Deneb ذي القدر 1، وقدراً أكبر بنحو 6,3 مرات مما نتلقّاه من نجم القطب ذي القدر 2. (ستناقش الأقدار بفضل بيان في الفقرة 14.3).

ماذا يعني الفلكيون بالقَدْر الظاهري؟ ....

....

الجواب: درجة ما يبدو عليه جرمٌ سماويٌ من سطوع.

8.1 تحديد المواقع على الأرض

كلما ازداد إدراكك لحركة النجوم ازدادت متعتك برصدها. إن نموذج الكرة السماوية celestial globe يساعدك على تحديد مواقع الأجرام السماوية، تماماً كما يساعدك نموذج الكرة الأرضية terrestrial globe على تحديد مواقع أماكن على الأرض.

تذكَّر كيف تعمل الخرائط الأرضية؛ فنحن نصوِّر الأرضَ كرةً نرسم عليها خطوطاً وهميةً نسترشد بها، وتقاس كلُّ الأبعاد والمواقع اعتباراً من خطَّين مرجعيَّين رئيسيَّين معلَّمَيْن بـ 0°، أحدهما ـ وهو خط الاستواء -equator يمثِّل الدائرةَ العظمى التي تتوسط المسافةَ بين القطبين الشمالي والجنوبي والتي تقسم الكرة نصفين؛ والآخر ـ وهو خط الزوال الرئيسي أو دائرة الطول الأساسية -prime meridian يمتدّ من قطبٍ إلى قطب عبر غرينتش بإنكلترا.

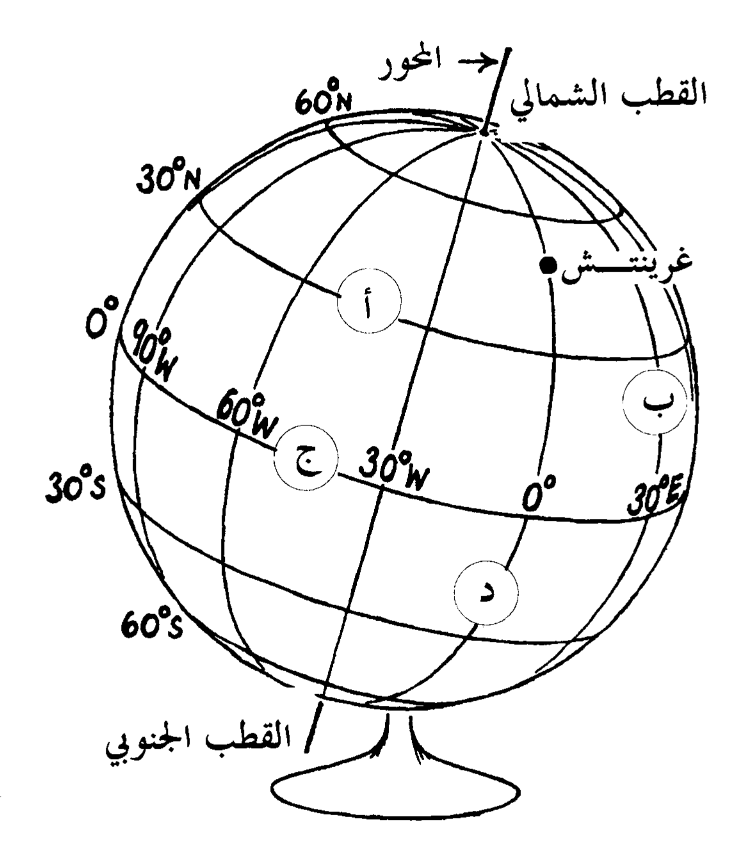
تسمى الخطوطُ الوهمية الموازية لخط الاستواء بخطوط العرض latitude lines، وتلك الممتدة بين القطبين بخطوط الطول longitude lines (أو دوائر الزوال meridians). ويمكن تحديد موقع أيّ مدينةٍ على الأرض إذا عُرفت إحداثياتها بالنسبة إلى خطوط العرض والطول. كذلك يمكن قياس المسافات على سطح الكرة الأرضية بتقسيم هذه الأخيرة إلى 360 قسماً تسمى الدرجات (°) degrees. (انظر تعريف القياس الزاويّ في الملحق 3).

انظر إلى نموذج الكرة الأرضية في الشكل 4.1، وحدِّد عليه خط الاستواء، وخط الزوال الرئيسي، وخط العرض 30° شمالاً، وخط الطول 30° شرقاً.

(أ) ....؛ (ب) ....؛

(ج) ....؛ (د) ....

الجواب: (أ) 30° شمالاً؛ (ب) 30° شرقاً؛ (ج) خط الاستواء؛ (د) خط الزوال الرئيسي.

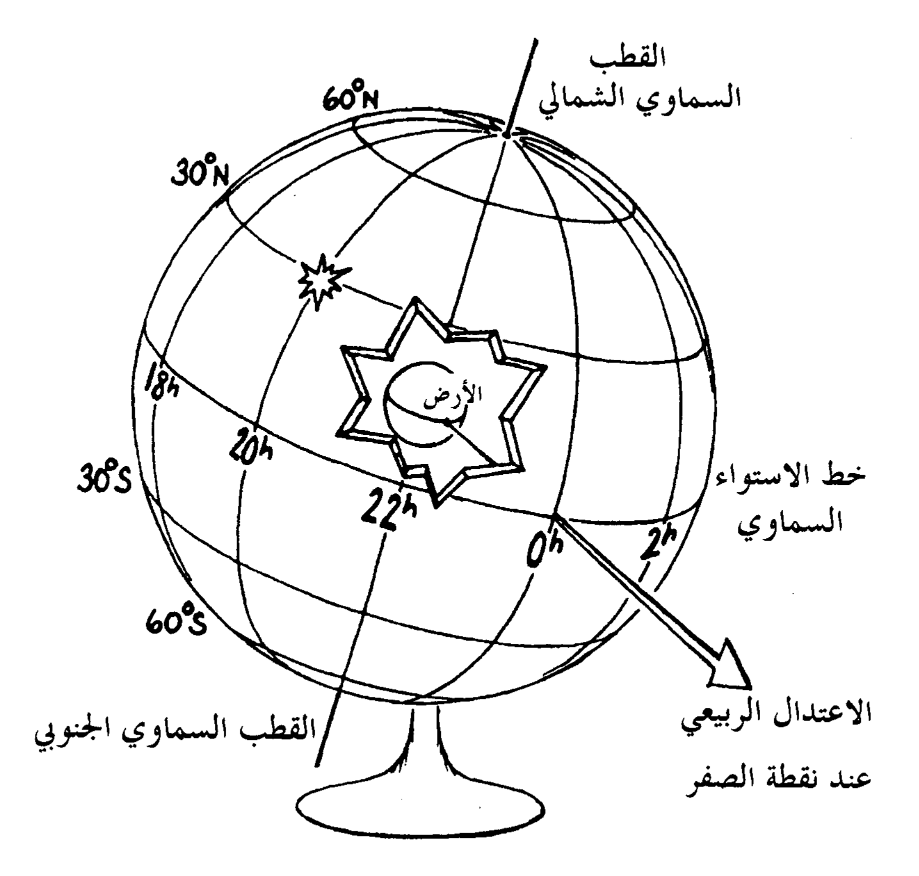


الشكل 4.1 نموذج الكرة الأرضية.

9.1 الإحداثيات السماوية

يرسم الفلكيون على الكرة السماوية خطوطاً وهميةً أفقيةً وشاقولية شبيهةً بخطوط العرض وخطوط الطول على الأرض، ويستعملون لهذه الغاية إحداثياتٍ سماويةً لتحديد مواقع الأجرام السماوية.

فخط الاستواء السماوي celestial equator هو مسقط خط الاستواء الأرضي على السماء. يُسمّى البُعدُ الزاويُّ فوق خط الاستواء السماوي وتحته المَيْل declination (أو dec). أما البُعد المقيسُ باتجاه الشرق على امتداد خط الاستواء السماوي من نقطة الصفر ـ التي تسمى الاعتدال الربيعي vernal



الشكل 5.1 نموذج الكرة السماوية.

equinox فيُسمّى مَطْلعاً مستقيماً right ascension (أو RA) يُقاس بالساعات (h)، حيث $15° = 1^h$.

وكما يمكن تحديد موقع أي مدينةٍ على الأرض عن طريق إحداثيات خطوط الطول والعرض، كذلك يمكن تحديد موقع أي جِرمٍ سماويٍّ على الكرة السماوية عن طريق إحداثيات مَطْلعه المستقيم ومَيْله.

حدِّد موقع النجم المبيَّن في الشكل 5.1 ....

....

الجواب: مَطْلَع مستقيم 20^h، ميل $30°$ شمالاً.

10.1 تحديد المواقع على الكرة السماوية

إن لكل نجم موقعاً على الكرة السماوية، وهو موقعه الذي يظهر عند النظر إليه من الأرض. إنّ مَيْلَ النجوم ومطلعَها المستقيم لحقبةٍ epoch نظامية (أي لنقطةٍ زمنيةٍ تُختار مرجعاً ثابتاً) يتغيّر تغيُّراً طفيفاً على مدى سنواتٍ كثيرة، ويمكن قراءتها من نموذج كرةٍ سماوية أو من أطلسٍ نجمي أو من برمجياتٍ كومبيوترية (انظر مثلاً الجدول 1.1 الذي ستعود إليه مراراً عند تناوُل ما فيه من معلومات ضمن فصول مقبلة من الكتاب).

تتغيَّر مواقع الشمس والقمر والكواكب على الكرة السماوية بانتظام. ويمكنك معرفة مواقعها الشهرية من أحدث المنشورات الفلكية أو من مواقع وِبْ Web أو البرمجيات الكومبيوترية (انظر «المصادر المفيدة»).

في حقبةٍ معيَّنة، قد تتحدَّد مواقع النجوم عند الإحداثيات نفسها تقريباً على الكرة السماوية، في حين تتغيَّر مواقع الشمس والقمر والكواكب بانتظام. فسِّر ذلك ....

....

....

....

الجواب: لما كانت النجومُ أجراماً نائيةً جداً عن الأرض، تعذَّر إمكان رؤية حركتها بالعين المجرَّدة، مع أنها تنتقل عدة كيلومترات في الثانية في اتجاهاتٍ مختلفة. أما الشمس والقمر والكواكب فهي أقرب إلى الأرض بكثير، فتتسنى لنا رؤية حركتها بالنسبة إلى النجوم البعيدة.

الجدول 1.1 أسْطَعُ النجوم

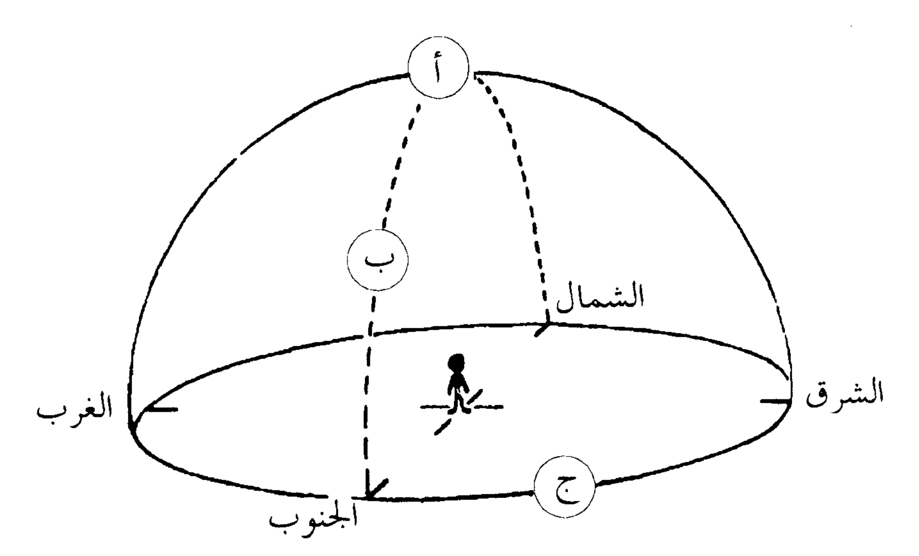
	اسم النجم	قَدْرُه الظاهري	مطلعه المستقيم h	m	مَيْله °	´	صنفه الطيفي	بُعده (ly)	قَدْرُه المطلق
الشمس		-26.72	–	–	–	–	G	8 lm	4.8
الشِّعرى اليمانية	α الكلب الأكبر	-1.44	06	45	-16	43	A	9	1.5
سُهَيْل	α كارينا	-0.62	06	24	-52	41	A	313	-5.4
رِجْل قنطورس	α قنطورس	-0.01	14	40	-60	50	G	4	4.2
السِّماك الرامح	α العوّاء	-0.05	14	16	+19	11	K	37	-0.6
النسر الواقع	α الشلياق	0.03	18	37	+38	47	A	25	0.6
العيّوق	α ذو الأعنّة	0.08	05	17	+46	00	G	42	-0.8
الرِّجل	β الجبّار	0.18	05	15	-08	12	B	773	-6.6
الشعرى الشامية (الغميصاء)	α الكلب الأصغر	0.41	07	40	+05	14	F	11.4	2.8
آخر النهار	α النهر	0.45	01	38	-57	14	B	144	-2.9
منكب الجوزاء	α الجبّار	0.45	05	55	+07	24	M	522	-5.0
حَضار	β قنطورس	0.58	14	04	-60	22	B	526	-5.5
النسر الطائر	α العُقاب	0.76	19	51	+08	52	A	17	2.1
الدبران	α الثور	0.87	04	36	+16	30	K	65	-0.8
السنبلة	α العذراء	0.98	13	25	-11	09	B	262	-3.6
قلب العقرب	α العقرب	1.06	16	30	-26	26	M	604	-5.8
رأس الجوزاء	β الجوزاء	1.16	07	45	+28	02	K	34	1.1
فم الحوت	α الحوت الجنوبي	1.17	22	58	-29	38	A	25	1.6
الذنَب	α الدجاجة	1.25	20	41	+45	17	A	1467	-7.5
نيِّر نُعَيم	α الصليب	1.25	12	27	-63	05	B	321	-4.0
الصليب الجنوبي	β الصليب	1.25	12	48	-59	41	B	352	-4.0

المختصرات:

المطلع المستقيم: h = ساعات؛ m = دقائق زمنية.

المَيْل: ° = درجات؛ ´ = دقائق قوسية.

ly = (light year) سنة ضوئية. lm = (light minute) دقيقة ضوئية.



الشكل 6.1 خطوط المرجع الموضعية لراصد.

11.1 خطوط المرجع الموضعية

إن خطوط المَيْل والمطلع المستقيم ثابتة بالنسبة إلى الكرة السماوية وتتحرك معها وهي تدور حول الراصد. لكن ثمة خطوطاً مرجعيةً أخرى مفيدة تتصل بموقع كل راصد، وتظلُّ ثابتةً مع الراصد لدى مرور الأجرام السماوية.

ومن موقعك فإن السَّمتَ zenith هو النقطة الواقعة فوق رأسك مباشرة على الكرة السماوية؛ والأفقَ السماوي celestial horizon هو الدائرة العظيمة على الكرة السماوية، التي تصنع زاويةً قدرها 90° اعتباراً من سَمْت رأسِك. ومع أن الكرة السماوية مليئة بالنجوم، فإنك لا ترى إلا تلك النجوم التي تقع فوق خط أفقك. أما خط الزوال السماوي أو دائرة الطول السماوية celestial meridian فهو الدائرة العظيمة المارّة بسمت رأسك وبنقطتي الشَّمال والجنوب على خط أفقك، مع العلم بأن ما يقع فوق الأفق من خط الزوال السماوي هو نصفه فقط.

بالرجوع إلى الشكل 6.1 حدِّد سمتَ الراصد، والأفقَ السماوي، وخطَّ الزوال السماوي.

(أ) .... ؛ (ب) .... ؛

(ج) ....

الجواب: (أ) السمت؛ (ب) خط الزوال؛ (ج) الأفق.

12.1 خط الزوال السماوي

اخرج إلى العراء وتتبَّعْ سَمْتَكَ وأفقك السماوي وخطَّ الزوال السماوي، وذلك بتصوُّر نفسك، شأنَ الراصد، في مركز الكرة السماوية العظيمة.

في ليلةٍ حالكةٍ صافيةٍ مُنْجِمة، ولِّ وجهك شطر الجنوب وحاول أن ترصد النجوم القريبة من خط الزوال السماوي عدة مرات في أوقاتٍ متباينة من الليل. صِفْ ما ترى ....

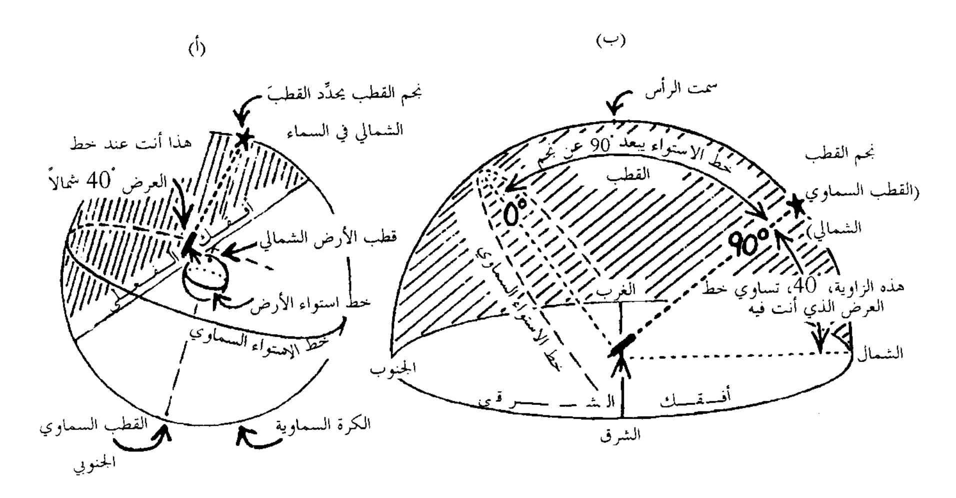
....

....

الجواب: تتحرك النجوم من الشرق إلى الغرب وتَعْبُر transit خط الزوال السماوي. ذلك بسبب دوران الأرض من الغرب إلى الشرق. تتكبَّد culminate النجوم (أي تبلغ أعلى ارتفاعٍ ظاهري لها) عندما تكون على خط الزوال السماوي.

13.1 علاقة خطوط العرض بالرصد

إن النجوم التي تظهر فوق أفقك ومساراتها عبر السماء منوطة بموقع خط العرض الذي أنت فيه على الأرض، إذ يختلف مظهر السماء باختلاف خطوط العرض (الشكل 7.1).



الشكل 7.1 الوجهة المحلّية للكرة السماوية عند خط العرض °40 شمالاً. (أ) مشهد من نقطةٍ مفترَضة في الخارج. (ب) مشهد الراصد.

فلو نظرتَ إلى السماء من القطب الشمالي ثم من القطب الجنوبي لرأيتَ نجوماً مختلفةً تماماً. وتعمل الأرض على قطع مشهد الكرة السماوية الذي تراه نصفَيْن.

ويمكنك تحديد اتجاه الكرة السماوية بالنسبة إلى أفقك وسمت رأسك عند أي مكانٍ على الأرض. ففي نصف الكرة الشمالي يقع القطب السماوي الشمالي فوق أفقك الشمالي عند خطِّ عرضٍ مساوٍ لخط العرض الذي أنت فيه. ولا يبعد نجمُ القطب إلا أقل من درجةٍ واحدة عن القطب السماوي الشمالي، وهو يحدِّد موقع القطب في السماء. وتمرّ دائرةُ المَيْل، المساوية ـ عدديّاً ـ لخط العرض الذي أنت فيه، عبر سمت رأسك. أما في نصف الكرة الجنوبي فيقع القطبُ السماوي الجنوبي فوق أفقك الجنوبي على ارتفاعٍ مساوٍ لموقعك على خط العرض، ولا يتميز بوجود نجم القطب.

أين تبحث عن نجم القطب من كلٍّ من المواقع الآتية:

(أ) القطب الشمالي؟ ....؛

(ب) خط الاستواء؟ ....؛

(ج) خط العرض 40° شمالاً؟ ....؛

(د) بيتك؟ ....

الجواب: (أ) عند سمت رأسك؛ (ب) على خط أفقك؛ (ج) 40° فوق أفقك الشمالي؛ (د) عند ارتفاعٍ فوق أفقك الشمالي مساوٍ لخط عرض بيتك.

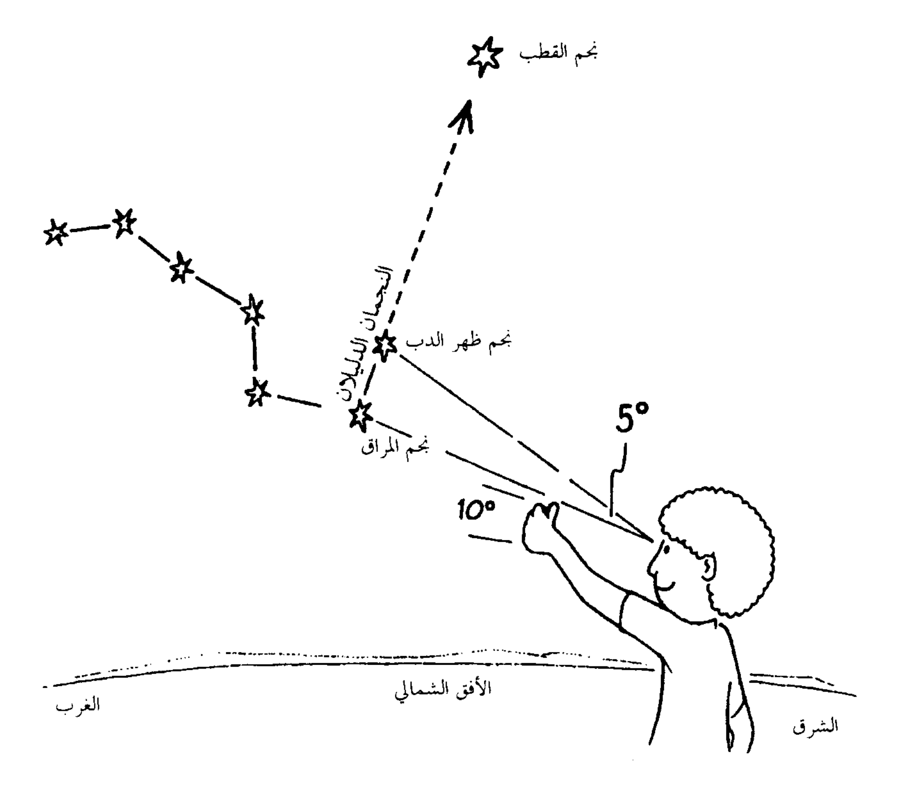
14.1 الحركة اليومية الظاهرية للنجوم

تبدو النجوم ـ عند رصدها من على سطح الأرض الدوّامةِ ـ متحرّكةً وفق مساراتٍ دائرية يومية diurnal circles حول القطبين السماويين.

ومع أن نجم القطب ليس من سواطع النجوم، إلا أن أهميته قديمة لأغراض الملاحة. وبحكم موقعه الذي هو أقرب إلى القطب السماوي الشمالي، فهو النجم الوحيد الذي يبدو وكأنه لا يبرح مكانه في السماء. وبإمكانك اقتفاء نجم القطب بتتبُّع النجمَيْن «الدليلين» :pointer stars ظَهْر الدُّب Dubhe والمِراق Merak في حوض مجموعة الدب الأكبر Big Dipper النجمية في كوكبة الدب الأكبر Ursa Major (الشكل 1.8).

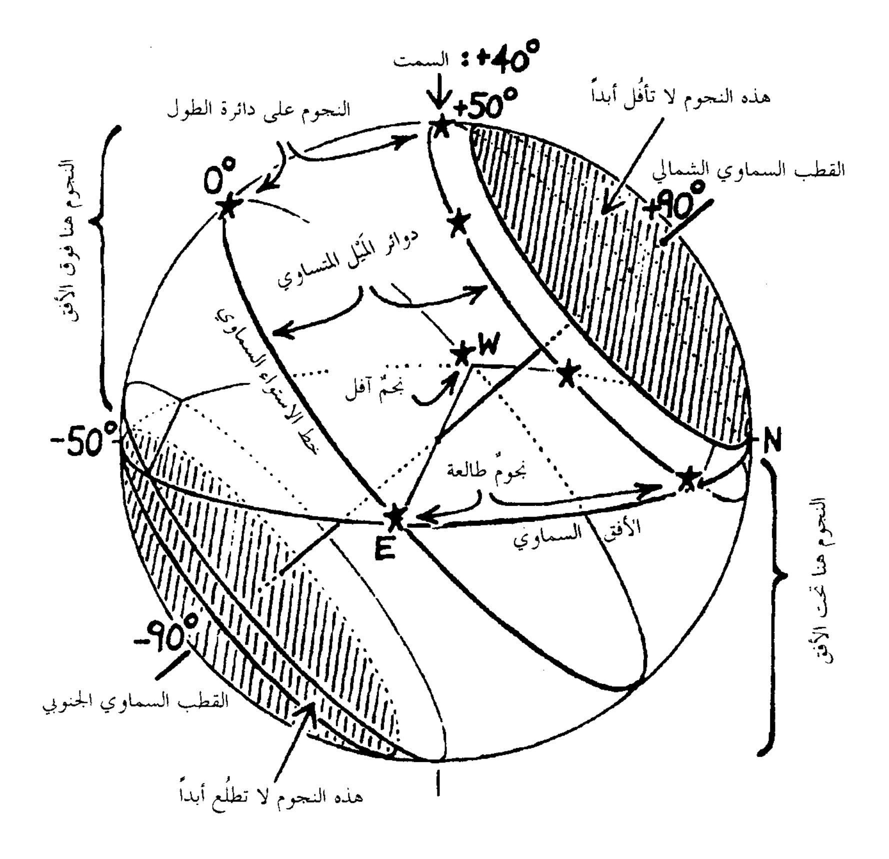
لما كان القطبان السماويان يقعان على ارتفاعاتٍ متميّزةٍ في السماء عند خطوط عرضٍ متميزة، فإن الجزءَ من الدائرة اليومية لنجم، الواقع فوق الأفق، يختلف باختلاف خطوط العرض على الأرض (الشكل 1.9).

على سبيل المثال، إذا كنتَ ترصد عند خط العرض 40 شمالاً، قريباً من خط عرض مدينة دِنفر بولاية كولورادو الأميركية، فسترى (الشكل 1.9): (1) أن النجوم ضمن 40° (وهو خط العرض الذي أنت فيه) من القطب السماوي الشمالي (أي تلك النجوم الواقعة بين المَيْل 50°+ والمَيْل 90°+) تكون فوق أفقك دوماً. تسمى هذه النجومُ التي لا تأْفُل أبداً بالنجوم



الشكل 8.1 النجمان «الدليلان»، ظَهر الدب والمِراق، الواقعان في حوض مجموعة الدب الأكبر يهديانك إلى نجم القطب. يبلغ البُعد الزاويُّ بين ذينك النجمين قرابة 5° على الكرة السماوية. تحدِّد قبضةُ اليد والذراعُ مبسوطة إلى مداها نحو 10°. هذه الأمثلة وأضرابها تساعدك على تقدير مسافاتٍ زاويّةٍ أخرى في السماء.

حَول ـ القطبية الشمالية north circumpolar stars (2) أن النجوم الواقعة ضمن 40° (وهو خط العرض الذي أنت فيه) من القطب السماوي الجنوبي لا تظهر فوق أفقك أبداً. هذه النجومُ التي لا تَطْلُع أبداً ـ من قبيل نجوم كوكبة نُعَيْم Crux ـ تُسمّى النجومَ حول ـ القطبية الجنوبية south circumpolar stars (3) أن النجوم الأخرى، التي تؤلِّف شريطاً حول خط الاستواء السماوي، تطلع وتغيب. تقع تلك النجوم عند المَيْل 40° شمالاً (المساوي لخط العرض الذي أنت فيه)، وهي تعبر سمت رأسك عند اجتيازها دائرةَ الطول السماوية التي أنت فيها.



الشكل 9.1 السماء كما تبدو من خط العرض 40° شمالاً. يقع القطبُ السماوي الشمالي عند 40° فوق الأفق الشمالي، والكرة السماوية تدور حوله. تشير دوائر المَيْل المتساوي إلى المسارات الدائرية اليومية.

افترض أنك ترصد عند خط العرض 50° شمالاً، قريباً من خط العرض الذي تقع عليه مدينة ڤانكوڤر Vancouver الكندية. عُدْ إلى الجدول 1.1 لمعرفة درجات مَيْل النجوم السواطع: العيّوق Capella، والنسر الواقع Vega، وسُهَيْل Canopus. أيُّ هذه النجوم:

(أ) يقع فوق خط الأفق دوماً؟ ....؛ (ب) يقع فوق خط الأفق أحياناً؟ ....؛ (ج) لا يقع فوق خط الأفق أبداً؟ ....

الجواب:

(أ) العيّوق (بِمَيْل 00′ 46°+). النجوم التي تقع ضمن 50° من القطب السماوي الشمالي (أي بين المَيْلين 40°+ و90°+ تكون فوق الأفق دوماً.

(ب) النسر الواقع (بِمَيْل 47′ 38°+). هذا النجم يطلع ويأفل.

(ج) سُهَيْل (بِمَيْل 41′ 52°−). يقع ضمن 50° من القطب السماوي الجنوبي (أي بين المَيْلَيْن 40° - و 90° -).

15.1 مَشاهد غير اعتيادية

صِفْ مشهدَ المساراتِ الدائرية اليومية للنجوم لو كنتَ ترصدها عند:

(أ) القطب الشمالي ....

....

....

(ب) خط الاستواء ....

....

....

فصِّل إجابتك. (تذكَّر أن الكرة السماوية تدور حول القطبين السماويّين) ....

....

الجواب:

(أ) ستبدو النجومُ كلُّها متحرِّكةً على مساراتٍ دائريةٍ في جزء السماء الموازي للأفق. تدور الكرةُ السماوية حول القطب السماوي الشمالي،

الذي يقع عند سمت رأسك في القطب الشمالي.

(ب) ستبدو النجومُ جميعُها وهي تبزُغ عموديةً على الأفق شرقاً، وتأفُل عموديةً عليه غرباً. تدور الكرةُ السماوية حول القطبين السماويَّين، اللذين يقعان على الأفق عند خط الاستواء.

16.1 الحركة الظاهرية السنوية للنجوم

يتبدَّل مظهر السماء في أثناء الليل بسبب دوران الأرض، كما يتبدَّل مظهرها ببطءٍ من ليلةٍ إلى أخرى.

فيلاحظ الراصد أن النجوم تبدو كلَّ ليلةٍ وقد ابتعدت قليلاً نحو الغرب عن مواقعها في الوقت نفسه من الليلة البارحة. وواقع الأمر أن كل نجمٍ يبزغ كلَّ ليلةٍ مبكِّراً أربع دقائق عن البارحة، أي نحو ساعتين في مدة شهر. فإذا كان النجمُ فوق الأفق في النهار حالت الشمسُ الساطعة دون رؤيته.

إذن فالنجوم التي تضيء السماءَ في وقتٍ معيَّن يطرأ عليها تغيُّر ملحوظ من شهرٍ إلى شهر ومن فصلٍ إلى فصل. وبمرور اثني عشر شهراً تبلغ الدقائقُ الأربعُ اليومية أربعاً وعشرين ساعة، وعندئذٍ تبدو السماءُ بنجومها وقد عادت سيرتها الأولى.

يعزى هذا التغيُّر في مظهر السماء بتغيُّر الفصول إلى حركة الأرض حول الشمس، فالأرض تدور حول الشمس دورةً كلَّ عام.

ولو تخيَّلتَ نفسك ممتطياً الأرض الطوَّافة في فلكها حول الشمس داخل الكرة السماوية وناظراً نحو الخارج مباشرة، لرأيتَ على خط نظرك فيضاً متنوعاً من نجوم السماء ليلاً، وبحيث ترى - على مدار عامٍ كامل - دورةً كاملةً من النجوم.

(أ) افترض نجماً يقع عند سمت رأسك الساعة التاسعة ليلاً بتاريخ 1

أيلول (سبتمبر). ففي أي وقت سيكون عند سمت رأسك بتاريخ 1 آذار (مارس)؟ ....

(ب) هل ستتمكن من رؤيته؟ .... وضِّح إجابتك ....

الجواب:

(أ) قرابة الساعة التاسعة صباحاً. فالنجوم تبكّر في بزوغها بنحو ساعتين.

(ب) لا؛ فالشمس الساطعة في تلك الساعة من النهار تحجب النجومَ النائية عن الرؤية.

17.1 فلك البروج ✪

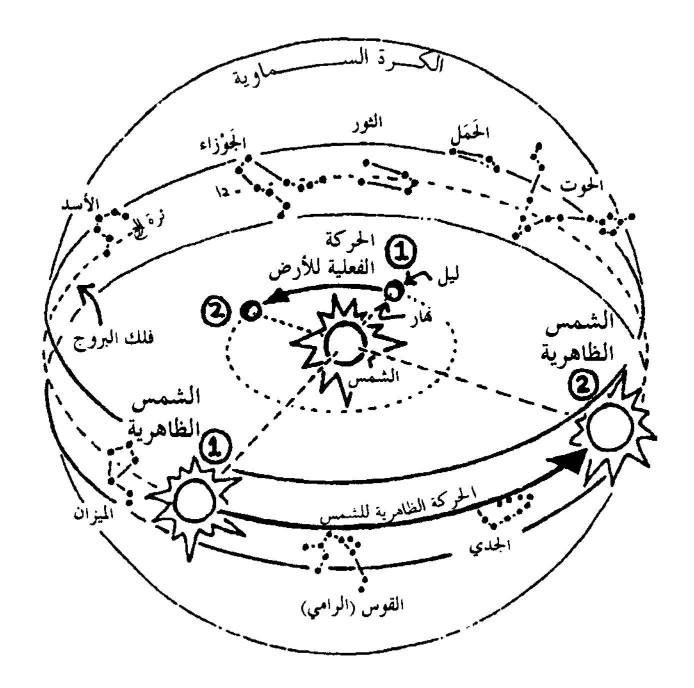
إذا كانت النجوم مرئيةً في النهار لاحظتَ أن الشمس تتحرك بينها ـ ظاهرياً ـ نحو الشرق في غضون السنة. ويرسم الدارسون فلكَ البروج ecliptic - وهو مسارُ الشمس الظاهريُّ بالنسبة إلى نجوم الخلفية ـ على نماذج كرة السماء وخرائط النجوم لأغراضٍ مرجعية.

يسمى الشريطُ المحيط بالسماء، الذي يبلغ عرضه نحو 16° ويقع مركزه على فلك البروج، بدائرة البروج zodiac. وقد قسَّمَ قدماءُ المنجِّمين دائرةَ البروج إلى 12 برجاً، أو صورة signs، يمتد كلٌّ منها 30° على خط الطول (انظر الملحق 3). ولدائرة البروج سمةٌ خاصةٌ استرعت الأنظار، ذلك أن القمرَ والكواكب عند ظهورها من السماء تتَّخذ هي الأخرى مساراتٍ قريبةً من فلك البروج وعبر هذه البروج الاثني عشر (الشكل 10.1).

ما هي دائرة البروج؟ ....

....

الجواب: شريط بعرض 16° تقريباً، يحيط بالسماء ويتمركز على فلك البروج، ويتألف من 12 برجاً.



الشكل 10.1 تنجم الحركةُ الظاهريةُ السنوية للشمس حول الكرة السماوية عن الحركة الفعلية للأرض حول الشمس. وبدوران الأرض حول الشمس تتبدّى مختلف كوكبات دائرة البروج في السماء ليلاً.

18.1 الحركة الظاهرية السنوية للشمس

تنشأ الحركة الظاهرية باتجاه الشرق للشمس من بين النجوم عن دوران الأرض الفعلي حول الشمس. ويبدو أن الشمس تدور دورةً كاملة حول الكرة السماوية كل عام.

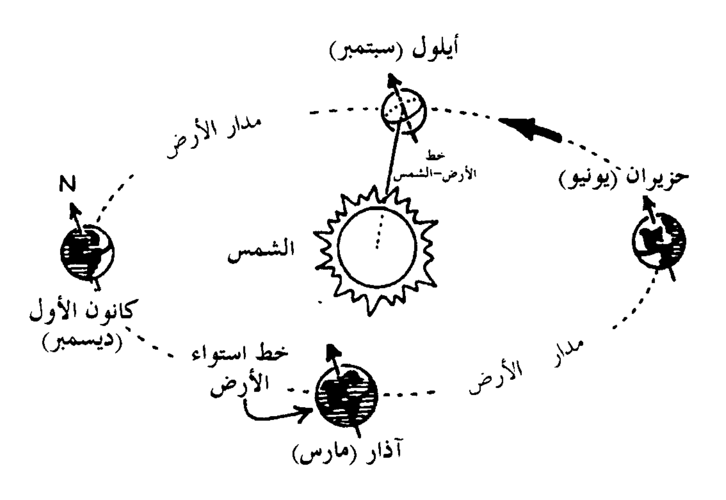
كم تقطع الشمسُ على فلك البروج على وجه التقريب يومياً؟ استفِدْ من أن الشمس تدور 360° حول فلك البروج في سنة (زهاء 365 يوماً)

الجواب: 1° تقريباً.

طريقة الحل: $\frac{360^\circ}{\text{365 يوماً}} \cong 1^\circ$ يومياً

19.1 الفصول على الأرض

يكون مسارُ الشمس عبر السماء في ذروته صيفاً وفي حضيضه شتاءً. ويُرَدُّ تفاوُت ارتفاع الشمس فوق الأرض وقتَ الظهيرة طوال السنة إلى مَيَلان محور الأرض على مستوي مدارها حول الشمس (الشكل 11.1).

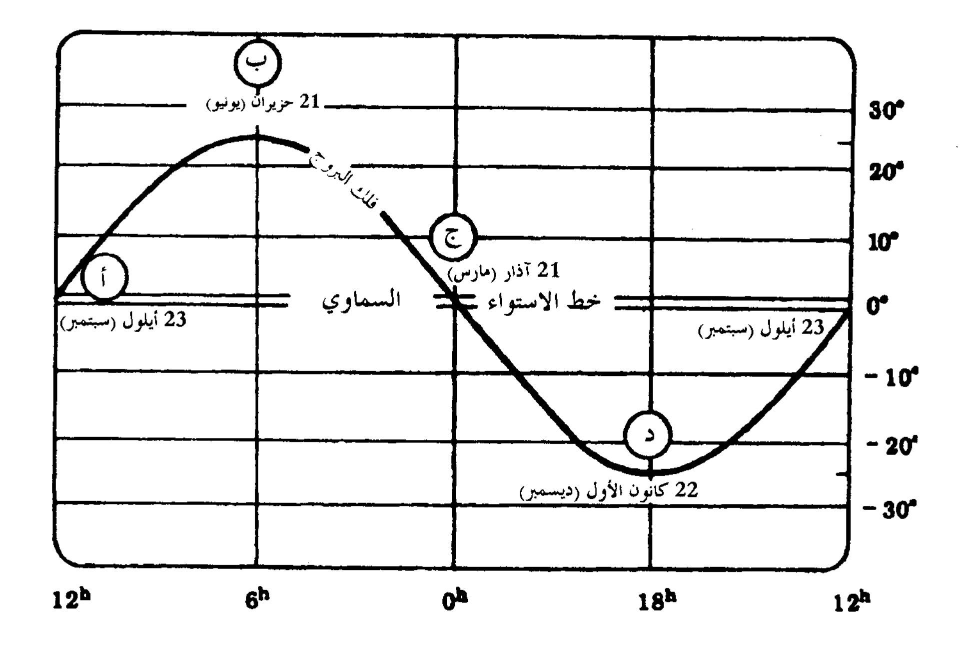


الشكل 11.1 إن مَيَلان محور الأرض يجعل كلاً من نصفَي الكرة يحصل على مقادير متباينة من ضياء الشمس على مدار السنة، مع دوران كوكبنا حول الشمس.

يبقى خط استواء الأرض مائلاً طوال العام قرابة 23,5ْ على مستويه المداري، ومن ثم يتغيَّر مَيَلان خط الأرض ـ الشمس مع استمرار دوران تلك حول هذه الأخيرة. وتسكب الشمسُ ضياءَها على الأرض من زوايا مختلفةٍ في أثناء العام، فتُحدِث تعاقُبَ الفصول والتغيُّراتِ الفصليةَ المتمثلة في طول النهار والليل.

بالرجوع إلى الشكل 11.1 هل ترى أن نصف الكرة الشمالي يميل باتجاه الشمس أم بعيداً عنها (أ) في شهر كانون الأول (ديسمبر)؟ .... (ب) في شهر حزيران (يونيو)؟ ....

الجواب: (أ) بعيداً عنها؛ (ب) باتجاهها.



الشكل 12.1 خريطة مسطحة للسماء.

20.1 الاعتدالان والمنقلَبان

يمكنك تحديد الموقع الظاهري للشمس من السماء في يوم معيَّن بالرجوع إلى فلك البروج على نموذجٍ للكرة السماوية أو خريطةٍ سماويةٍ مسطَّحة كالتي في الشكل 12.1.

والاعتدال الربيعي vernal equinox، الذي يحدث بتاريخ 21 آذار (مارس) تقريباً، هو موقع الشمس وهي تعبر خطَّ الاستواء السماوي باتجاه الشَّمال، وهي نقطة على الكرة السماوية اختيرت لتكون ساعة الصفر 0^h من المَطْلَع المستقيم (انظر الفقرة 9.1). أما الاعتدال الخريفي autumnal equinox، الذي يحدث بتاريخ 23 أيلول (سبتمبر) تقريباً، فهو موقع الشمس وهي تعبر خطَّ الاستواء السماوي باتجاه الجنوب. وعند الاعتدالين يتساوى طول الليل والنهار.

يحدث المنقَلَب الصيفي summer solstice بتاريخ 21 حزيران (يونيو) تقريباً، والمنقَلَب الشتوي winter solstice بتاريخ 22 كانون الأول (ديسمبر) أو نحو ذلك. والمنقَلَبان هما الموقعان اللذان يكون عندهما موقع الشمس في أقصى الشمال وفي أقصى الجنوب في أثناء السنة. وعند هذين الوقتين يقع أطولُ أيام السنة وأقصرها، على الترتيب، في نصف الكرة الشمالي.

بالرجوع إلى الشكل 12.1 عيِّن الاعتدال الربيعي ....؛ والاعتدال الخريفي ....؛ والمنقَلَب الصيفي . ...؛ والمنقَلَب الشتوي ....

الجواب: الاعتدال الربيعي (ج)؛ الاعتدال الخريفي (أ)؛ المنقَلب الصيفي (ب)؛ المنقلَب الشتوي (د).

21.1 ارتفاع الشمس

لا يمكن أن تكون الشمس عموديةً في كبد السماء تماماً للراصدين عند خطوط العرض المتوسطة midlatitudes؛ فأقصى ارتفاع تبلغه الشمس في يومٍ معيَّن يعتمد على مَيْلها declination وخط العرض الذي تقع عنده منطقتك.

في أي مكانٍ على الأرض ينبغي أن تقف لكي تعبر الشمسُ سمتَ أفقك مباشرة وقتَ (أ) الاعتدال الربيعي؟ .... (ب) المنقَلب الصيفي؟ ....؛ (ج) الاعتدال الخريفي؟ .... (د) المنقَلَب الشتوي؟ ....

الجواب: (أ) على خط الاستواء؛ (ب) عند خط العرض 23,5° شمالاً (مدار السرطان)؛ (ج) على خط الاستواء؛ (د) عند خط العرض 23,5° جنوباً (مدار الجدي).

1.22 الآثار الملحوظة لحركات الأرض

كيف تتسبَّب حركةُ الأرض في الفضاء بإحداث تغيُّراتٍ ملحوظةٍ في مظهر السماء بالنسبة إلى راصد يقف على الأرض؟ ....

....

....

....

الجواب: يجب أن تُضمِّنَ إجابتَك الأفكارَ الآتية:

يتغيَّر مظهرُ السماء المرصَّعة بالنجوم ليلاً بسبب الدوران اليومي للأرض.

تتبدَّل المواقعُ [الظاهرية] للنجوم المرئية بتبدُّل الفصول بسبب الدوران السنوي للأرض حول الشمس.

تنشأ الحركةُ الظاهريةُ اليومية للشمس من الدوران الفعلي للأرض على محورها، في حين تنجم الحركةُ الظاهريةُ السنوية للشمس عن الدوران الفعلي للأرض في فلكها.

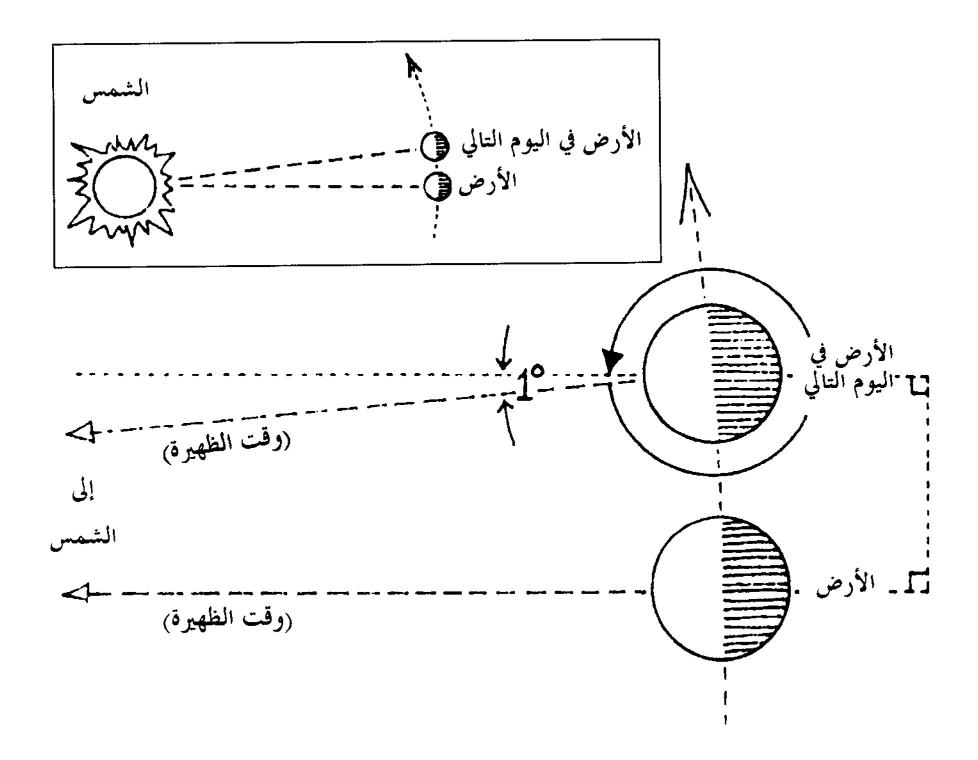
1.23 اليوم

يوفِّر دورانُ الأرض حول نفسها أساساً لضبط الزمن باستعمال الأرصاد الفلكية. فاليوم الشمسي solar day المعتاد يقيس زمن دورة الأرض باتخاذ الشمس مَعْلَماً مرجعياً؛ واليوم الفلكي (النجمي) sidereal day يقيس ذلك الزمن باتخاذ النجوم مرجعاً.

يبلغ طول اليوم النجمي 23 ساعة و56 دقيقة و4 ثوان، وهو الزمن اللازم لنجم كي يعبر دائرة خط الزوال (دائرة الطول) meridian مرتين متواليتين، أو هو الزمن الذي تستغرقه الأرض لإتمام دورةٍ كاملة في الفضاء.

ويبلغ طول اليوم الشمسي 24 ساعة، أي المدة اللازمة للشمس كي تنجز عبورَيْن متعاقبين لدائرة خط الزوال.

نلاحظ أن اليوم الشمسي أطول من اليوم النجمي بنحو أربع دقائق، ذلك لأن الأرض، بدورانها على محورها، تتحرك أيضاً طوّافةً في فلكها حول الشمس. وتقضي نواميسُ الكون أن تتمَّ الأرضُ ما يزيد قليلاً على دورةٍ كاملة في الفضاء قبل أن تعود الشمسُ إلى الظهور على دائرة خط الزوال (الشكل 13.1).



الشكل 13.1 يزيد طولُ اليوم الشمسي على اليوم النجمي بسبب دوران الأرض في فلكها حول الشمس في الوقت الذي تدوِّم فيه على محورها. وفي المدة الواقعة بين ظُهْرَيْن متتاليين تُتِمُّ الأرضُ ما يزيد قليلاً على دورةٍ كاملةٍ في الفضاء.

يجدر بالذكر أن الميقاتية clock التي تعمل وفق النظام الفلكي مفيدةٌ لأغراض الرصد بنوعٍ خاص؛ إذ تعود النجومُ كلُّها إلى مواقعها في السماء كلَّ 24 ساعة، أي إنَّ النجم يبزغ، ويعبر خط الزوال، ثم يأفل في الوقت الفلكي نفسه طوال أيام السنة.

وبإمكانك استعمال الإحداثيات السماوية celestial coordinates (انظر الجدول 1.1) لتحديد الزمن الفلكي في أي لحظةٍ وأنت ترصد، فالوقت الفلكي المحلّي يعادل المَطْلع المستقيم للنجوم على دائرة خط الزوال لمكان وجودك. فإذا رأيتَ، على سبيل المثال، نجمَ الشِّعرى اليمانية Sirius وهو يَعْبُر transit فاعلمْ أن الزمن الفلكي هو 6 ساعات و54,1 دقيقة.

ما هي حركة الأرض التي تُحدِث فارق الدقائق الأربع بين اليوم النجمي واليوم الشمسي؟ ....

الجواب: دورانها حول الشمس.

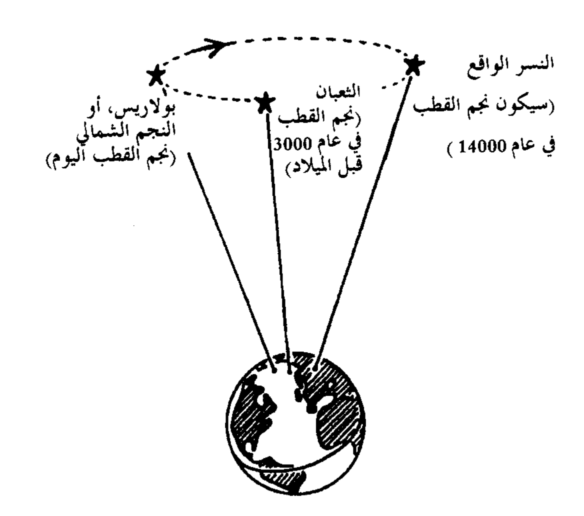
24.1 المبادرة ✪

ستكون خرائطك النجمية عوناً لك حياتَك كلَّها. على أن من المهم أن تعلم أنها ستتقادم ويطول عليها الأمد بعد مئات السنين.

يَنْزاح اتجاه محور الأرض في الفضاء انزياحاً ضئيلاً جداً حول دائرةٍ مرةً كلَّ نحو 26،000 سنة. تُعرَف هذه الحركةُ البطيئة لمحور الأرض حول شكلٍ مخروطي في الفضاء باسم المبادرة precession. وتنشأ مبادرةُ محور الأرض في المقام الأول عن فعل الشَّد الذي تبديه الشمسُ والقمر على الانتفاخ الاستوائي[1] equatorial bulge للأرض.

ومع مبادرة محور الأرض يتغيَّر نجمُ القطب تبعاً لذلك؛ فالاعتدال

(1) الانتفاخ الاستوائي: زيادة قطر الأرض الاستوائي على قطرها القطبي. (المعرِّب)



الشكل 14.1 تمثيل للمبادرة. يرسم محور الأرض، وببطء شديد، شكلاً مخروطياً في الفضاء، ومن ثم يتغيّر نجم القطب بمرور الزمان.

الربيعي - أي نقطة الصفر لمطلع المستقيم - ينحرف غرباً حول فلك البروج بمعدَّل 50 ثانية أو نحو ذلك في السنة، ومن ثم فإنه ينحرف 30°، أي برجاً كاملاً على دائرة البروج، في غضون 2150 سنة، تكون من بعدها الخرائط النجمية كلُّها متقادمة وغير صالحة. (يُجري علماء الفلك ما يلزم من تعديلات لضبط خرائطهم النجمية كل 50 سنة).

وفي علم التنجيم اليوم تحمل كلُّ صورةٍ على دائرة البروج اسم البرج الذي سُمِّيت باسمه أصلاً، والذي عاد لا ينطبق عليها اليوم بسببٍ من مبادرة الاعتدالين.

ترى من الشكل 14.1 أن نجم القطب حالياً هو پولاريس، وأن الاعتدال الربيعي يقع في برج الحوت.

(أ) ما نجم القطب الذي كان في السنة 3000 قبل الميلاد؟ ....

(ب) ما النجم الذي سيكون نجمَ القطب في السنة 14،000؟ ....

الجواب: (أ) الثعبان؛ (ب) النسر الواقع.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الأول وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. اذكر إزاء كلٍّ من المسمَّيات التالية المستعملة على الكرة الأرضية ما يقابله على الكرة السماوية:
(أ) خط الاستواء ....
(ب) القطب الشمالي ....
(ج) القطب الجنوبي ....
(د) خط العرض ....
(هـ) خط الطول ....
(و) غرينتش/إنكلترا ....

2. بالاستعانة بالجدول 1.1، أيّ النجوم الخمسة التي هي أكثر سطوعاً في السماء تقع فوق خط الاستواء السماوي وأيُّها يقع تحته؟ ....
....

3. عُدْ إلى الجدول 1.1 وقرِّر أيّ النجوم الخمسة التي هي أكثر سطوعاً لا يمكن أبداً أن تظهر فوق الأفق عند خط العرض 40° شمالاً (أي قريباً من مدينة نيويورك)؟ ....
....

4. حدِّدِ المكان المناسب لوجودك على الأرض بحيث يتواءم مع كل وصفٍ نجميٍّ مما يأتي:

-- (أ) تبدو النجوم متحرّكةً على مساراتٍ دائريةٍ في السماء موازيةٍ لخط أفقك.

-- (ب) تبزغ النجومُ بزوايا قائمةٍ على الأفق شرقاً، وتأفل بزوايا قائمةٍ على الأفق غرباً.

-- (ج) يعبر نجم النسر الواقع سمتَ رأسك تقريباً.

-- (د) يقع نجم α حَضَار دوماً فوق خط أفقك.

-- (هـ) يظهر نجم القطب قريباً من 30° فوق الأفق.

(1) القارة القطبية الجنوبية (أخفض من 61° جنوباً).

(2) خط الاستواء.

(3) مدينة جاكسونڤيل بولاية فلوريدا الأمريكية.

(4) القطب الشمالي.

(5) مدينة ساكرامنتو بولاية كاليفورنيا الأمريكية.

5. لماذا تبدو النجوم متحرِّكةً على مساراتٍ قوسية في السماء ليلاً؟ ....

....

6. بمَ تفسِّر ظهور بروجٍ مختلفةٍ في السماء في كلِّ فصلٍ من فصول السنة؟

....

7. ما هي دائرة البروج؟ ....

....

8. في أي مكانٍ على الأرض ينبغي أن تكون موجوداً كي تمرَّ الشمسُ عبر سمت رأسك مباشرة وقتَ حدوث (أ) الاعتدال الربيعي؟ ....؛ (ب) المنقلب الصيفي؟ ....؛ (ج) المنقلب الشتوي؟ ....

9. إذا بزغ نجمٌ الليلةَ الساعة الثامنة، ففي أي وقتٍ على وجه التقريب سيبزغ بعد شهرٍ من الآن؟ ....

10. لماذا يزيد طول اليوم الشمسي قرابة أربع دقائق على اليوم النجمي (الفلكي)؟ ....

....

11. رتِّب النجوم الآتية تنازلياً وفق درجة سطوعها: قلب العقرب (من القدر 1)؛ سُهَيْل (من القدر 1 ـ)؛ نجم القطب (من القدر 2)؛ النسر الواقع (من القدر 0) ....

12. لماذا سيتغير نجمُ القطب وموقعُ الاعتدال الربيعي على القبة السماوية بعد آلاف السنين، مفضياً ذلك إلى تقادُم خرائطك النجمية؟ ....

....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة الآتية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. (أ) خط الاستواء الشمالي (د) المَيْل.
(ب) القطب السماوي الشمالي. (هـ) المَطْلَع المستقيم.
(ج) القطب السماوي الجنوبي (و) الاعتدال الربيعي.
(الفقرات 1.1، 8.1، 9.1)

2. فوقه: السِّماك الرامح، والنسر الواقع.
تحته: الشِّعرى اليمانية، وسهيل، و α حَضَار.
(الفقرتان 9.1، 10.1)

3. سهيل، و α حَضَار. (الفقرات 10.1، 13.1، 14.1)

4. (أ) 4؛ (ب) 2؛ (ج) 5؛ (د) 1؛ (هـ) 3. (الفقرات 10.1، من 13.1 إلى 15.1)

5. بسبب دوران الأرض على محورها. (الفقرات 1.1، 12.1، 14.1)

6. بسبب دوران الأرض حول الشمس. (الفقرة 16.1)

7. شريط بعرض 16° تقريباً يحدق بالسماء ويتمركز على فلك البروج ويحتوي 12 برجاً. (الفقرة 17.1)

8. (أ) خط الاستواء؛ (ب) 23,5° شمالاً (مدار السرطان)؛ (ج) 23,5° جنوباً (مدار الجدي).

(الفقرات 19.1 إلى 21.1)

9. الساعة السادسة مساءً. (الفقرة 16.1)

10. لأن الأرض، في حين تدور على محورها، تطوف أيضاً في فلكها حول الشمس. وبالضرورة تُتِمُّ الأرضُ ما يزيد قليلاً على دورةٍ كاملةٍ في الفضاء الكوني قبل أن تعود الشمسُ إلى الظهورِ على دائرة الزوال.

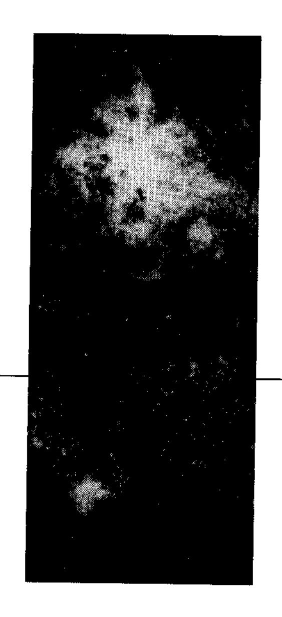
(الفقرة 23.1)

11. سهيل، النسر الواقع، قلب العقرب، نجم القطب. (الفقرة 7.1)

12. بسبب مبادرة محور الأرض. (الفقرة 24.1)

2

الضوء والمقاريب



حبُّ الاستطلاع من الصفات الحتمية الباقية التي تميِّز العقل الفاعل.

The Rambler صموئيل جونسون (1709 ـ 1784)

الأهداف:

- وصف الطبيعة الموجيّة للضوء، وكيف يتولَّد وكيف ينتقل.
- تعرُّف أهم مناطق الطيف الكهرطيسي من أقصر طولٍ موجيٍّ إلى أطول طولٍ موجيّ.
- بيان علاقة الطول الموجيّ بالتردُّد.
- بيان العلاقة بين لون نجمٍ ودرجة حرارته.
- ذكر النوافذ (المناطق الطيفية) الثلاث في الغلاف الجوي الأرضي بحسب أهميتها في علم الفلك الرصدي.
- شرح طريقة عمل المقاريب الكاسرة والمقاريب العاكسة.

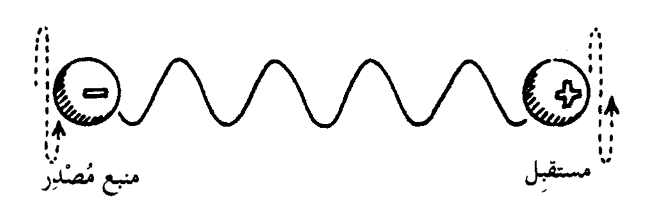
- تعريف مقدرة التجميع الضوئي، ومقدرة الفصل (المَيْز)، والتكبير في المقاريب.
- إيراد أهم عاملَيْن في أداء المقراب.
- الغرض من راسم الطيف.
- شرح طريقة عمل المقاريب الراديوية، وذكر بعض المنابع الراديوية الهامة.
- لماذا تقام المقاريب تحت الحمراء في مواقع جافةٍ وعاليةٍ جداً؟ وما هي الأجرام التي ترصدها؟
- لماذا يتعيَّن عمل المقاريب فوق البنفسجية والمقاريب السينية ومقاريب أشعة غاما بالضرورة فوق الغلاف الجوّي للأرض؟ وما هي الأجرام التي تدرسها؟

1.2 ما هو الضوء؟

إن معرفتنا بالكون مستمدةٌ في معظمها من تحليل ضوء النجوم. ولتفسير آلية انتقال ضوء النجوم تريليونات الكيلومترات في الفضاء ليصل إلى المقاريب الراصدة، يمثِّل علماءُ الفلك الضوءَ شكلاً من أشكال الحركة الموجيّة.

والموجة wave اضطرابٌ صاعدٌ وهابط ينقل الطاقةَ من منبعٍ مُصْدر إلى جهةٍ مستقبِلة دون انتقال فعليٍّ للمادة. ويمكن ملاحظة حركة الأمواج بوضوحٍ في البحر المحيط، حيث تُظهِر الأمواجُ البحرية المتلاطمة في الجوِّ العاصفِ ما تحمله من طاقة إظهاراً ناطقاً.

وموجة الضوء light wave اضطرابٌ كهرطيسيٌّ مؤلَّف من ظواهر كهربائية ومغنطيسية سريعة التغيُّر، تنتقل الطاقةُ بفعلها من شحناتٍ كهربائية متسارعة في النجوم (المنبع) إلى شحناتٍ كهربائية في شبكية عينك



الشكل 1.2 رسم تمثيلي لموجة ضوء.

(المستقبِل) (الشكل 1.2). وسرعان ما تدرك تلك الطاقة بالنظر إلى ضوء النجوم.

ما هي الموجة؟..

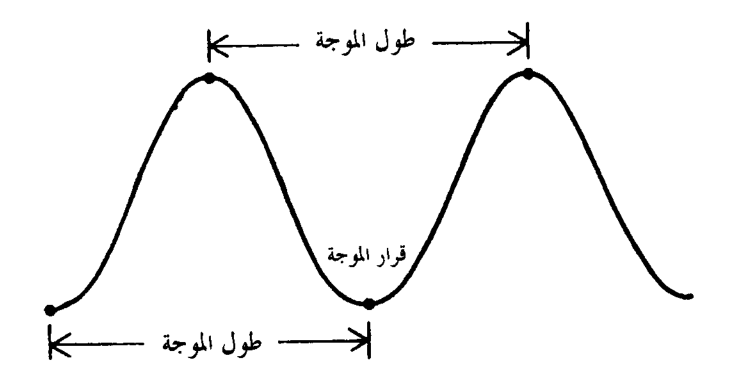
....

الجواب: الموجةُ اضطرابٌ صاعدٌ وهابط ينقل الطاقةَ من منبَعٍ مُصْدر إلى مستقبِل دون انتقالٍ فعليٍّ للمادة.

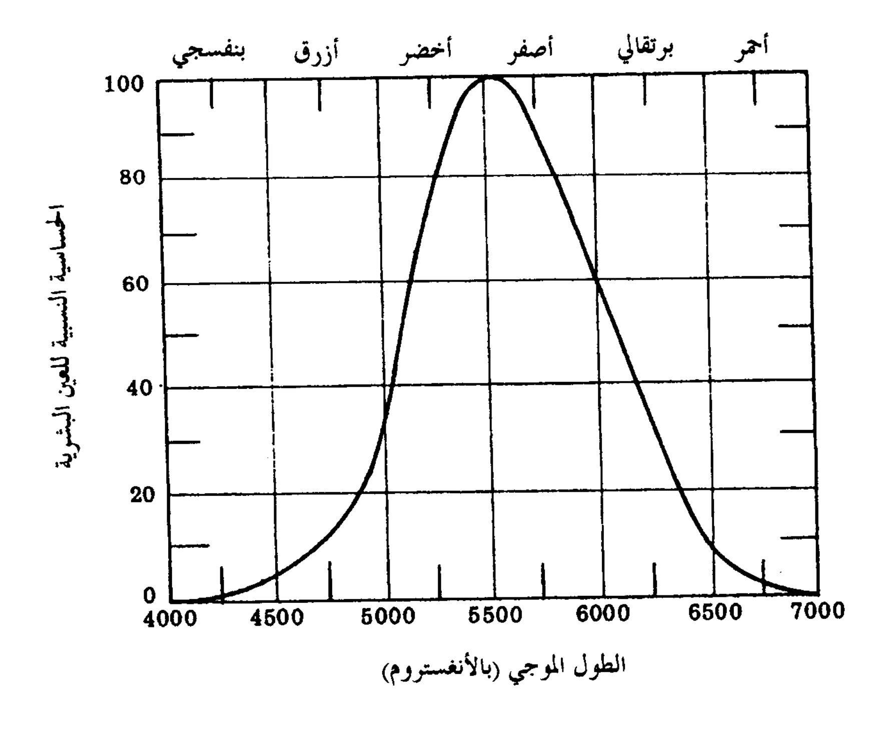
2.2 طول الموجة

تتميَّز الأمواجُ الضوئية بأطوالها؛ ويسمى البُعد بين أيّ نقطةٍ على موجةٍ ما ونظيرتها على الموجة التالية، كالبُعد بين ذروتَيْ موجتين مثلاً، طول الموجة wavelength (الشكل 2.2).

تستجيب العين البشرية للأمواج ذات الأطوال الموجية القصيرة جداً. يُطلَق على هذه الأمواج التي تولِّد الرؤية اسم الضوء المرئي light visible (الشكل 3.2). ويقيس الفيزيائيون هذه الأمواج بواحدة النانومتر (nm) nanometer، ويستعمل علماءُ الفلك عموماً واحدة الأنغستروم (Å) angstrom unit نسبةً إلى الفيزيائي السويدي آندرز أنغستروم Anders J. Angstrom (1814-1874) الذي كان أول من قاس الأطوال الموجيّة لضوء الشمس بواحدات



الشكل 2.2 طول الموجة، مقيساً بين ذروتين أو بين قرارَيْن.



الشكل 3.2 الحساسية النسبية للعين البشرية لمختلف ألوان الضوء المرئي وأطواله الموجية.

النانومتر، علماً بأن 1 نانومتر = 10^{-9} من المتر، و 1 أنغستروم = 0,10 نانومتر. ولتمثيل ذلك حسبك أن تعلم أن قطر شعرةٍ واحدة من رأسك يعادل 500،000 أنغستروم!

وللضوء المرئي أطوالٌ موجيَّة تقع بين 4000 و7000 أنغستروم. ويُدرَك تبايُنُ الأطوال الموجيّة للضوء المرئي على صورة ألوان colors مختلفة. يُسمّى ترتيب الألوان وفقاً للطول الموجيّ الطَّيفَ المرئي visible spectrum.

استعن بالشكل 3.2 في تحديد: (أ) لون الضوء الأقصر موجةً ....؛ (ب) لون الضوء الأطول موجةً ....؛ (ج) الطول الموجيّ (اللون) عندما تكون حساسية العين أعظمية ....

الجواب: (أ) البنفسجي؛ (ب) الأحمر؛ (ج) 5550 أنغستروم (بين الأصفر والأخضر).

3.2 الطيف الكهرطيسي

ليس الضوءُ المرئي إلا جزءاً صغيراً من كامل الإشعاع الكهرطيسي في الفضاء؛ فالطاقة تنتقل أيضاً على شكل أشعة غاما وأشعة سينية وإشعاعٍ فوق بنفسجي وإشعاعٍ تحت أحمر وأمواج راديوية.

تبدو أشكالُ الإشعاع هذه مختلفةً بعضها عن بعض بسبب تنوُّع مجالات الاستفادة منها: فالأطباء يستعملون أشعةَ غاما في معالجة الأمراض السرطانية، والأشعةَ السينية لأغراض التشخيص الطبي. وتضفي الأشعةُ فوق البنفسجية على بشرتك لونَ سُفْعَة الشمس، على حين تمنحك الأشعةُ تحت الحمراء الدفءَ والحرارة. أما الأمواج الراديوية فتُستعمل في الاتصالات.

إن كلَّ أشكال الإشعاع هذه هي في واقع الأمر من نوع الطاقة الأساسي ذاته المتمثل بالضوء المرئي. وهي تختلف في خصائصها بسبب اختلاف

الإشعاع الكهرطيسي اسم المنطقة	طول الموجة (سم)	التردد (عدد الدورات في الثانية)
أشعة غاما	قصير 10^{-9}	تردُّد عالٍ 10^{21}
أشعة سينية	10^{-6}	10^{16}
أشعة فوق بنفسجية	3×10^{-5}	10^{15}
مرئي (بنفسجي، أزرق، أخضر، أصفر، برتقالي، أحمر)		
أشعة تحت حمراء	10^{-4} 10^{-1}	10^{14} 10^{11}
أمواج ميكروية	1	10^{10}
مَرْكَبات فضائية	10^{2}	10^{8}
تلفزة و FM	10^{3}	10^{7}
أمواج قصيرة	10^{4}	10^{6}
موجات راديوية AM	10^{5} 1 km طويل	10^{5} 300 kHz تردد منخفض

(موجات راديوية: من أمواج ميكروية إلى موجات راديوية AM)

الشكل 4.2 يستغرق الطيفُ الكهرطيسي الإشعاعَ الكهرطيسي كلَّه، من الأقصر موجةً والأعلى تردُّداً (أشعة غاما) إلى الأطول موجةً والأدنى تردُّداً (الأمواج الراديوية).

أطوالها الموجيّة؛ فأقصرُ الأمواج تَحمل أكبرَ طاقة، وأطولُها أصغرها طاقة. نسمّي طيفاً كهرطيسياً electromagnetic spectrum جملةَ الأمواج الكهرطيسية مرتَّبةً بحسب أطوالها الموجيّة.

والأمواج الكهرطيسية من الأطوال الموجيّة كافة هي ذاتُ أهميةٍ لعلماء الفلك لأن كلاً منها يوفّر دليلاً مفتاحاً لمصدره.

بالرجوع إلى الشكل 4.2 اذكر ستة أشكال للإشعاع الكهرطيسي اعتباراً من أقصر الأمواج (الطاقة العليا) إلى أطول الأمواج (الطاقة الدنيا) ....

....

الجواب: أشعة غاما، الأشعة السينية، الأشعة فوق البنفسجية، الضوء المرئي، الإشعاع تحت الأحمر، الأمواج الراديوية.

4.2 مجال الأطوال الموجيّة

ما هو مجال الأطوال الموجيّة التي يستغرقها الطيف الكهرطيسي كله؟.

....

....

الجواب: تتفاوت الأطوال الموجيّة من قياسٍ لا يتجاوز جزءاً واحداً من تريليون (10^{-12}) من المتر في حالة أقصر أشعة غاما إلى قياسٍ يزيد على الكيلومتر (10^3 متر) في حالة أطول الأمواج الراديوية.

5.2 سرعة الضوء

تنتقل أنواعُ الأمواج الكهرطيسية كافةً عبر الخواء بسرعةٍ واحدة هي سرعة الضوء. وتقدَّر سرعة الضوء في الخواء ـ التي يُرمز لها عادةً بالحرف C ـ بـ 300،000 كم/ثانية (186،000 ميل/ثانية).

سُمِّيت سرعةُ الضوء في الخواء «حدّ سرعة الكون» speed limit of the universe، وذلك لعدم وجود جِرمٍ معروف يمكن أن يتحرك بسرعة تفوق سرعة الضوء. إن الرقم الدالَّ على سرعة الضوء هو بالفعل من أهم الأرقام وأكثرها دقّةً في علم الفلك (الملحق 2).

والسنة الضوئية light year (أو 1y اختصاراً) هي المسافة التي يقطعها الضوء عبر الخواء في عامٍ واحد، [وبها تقدَّر المسافات الفلكية].

كم كيلومتراً (ميلاً) تمثِّل السنةُ الضوئية الواحدة؟ استفد مما يأتي:

(1) المسافة = السرعة x الزمن

(2) عام واحد = $3,156 \times 10^7$ ثانية

الجواب: قرابة 9,5 تريليونات كيلومتر (أو 6 تريليون ميل).

طريقة الحل: 300،000 كم/ ثا $\times 3,156 \times 10^7$ ثانية/ سنة

(187،000 ميل/ ثا $\times 3,156 \times 10^7$ ثانية/ سنة)

6.2 التردُّد الموجيّ

يمكن وصف الحركة الموجيّة من حيث التردُّد وطول الموجة؛ فتردُّد frequency حركةٍ موجيَّة يُعرَّف بعدد الأمواج المارّة بنقطةٍ ثابتة في زمنٍ معيَّن، وتقاس بـ عدد الدورات في الثانية cycles per second (cps).

تستجيب عين الإنسان للأمواج الضوئية المختلفة الألوان ذات التردُّدات العالية جداً. ويتفاوت تردُّد موجات الضوء المرئي من $4,3 \times 10^{14}$ دورة/ ثانية للأمواج الحمراء اللون إلى 7.5×10^{14} دورة/ ثانية للأمواج البنفسجية، وتقع الألوان الأخرى بينهما.

وفي حالة الأمواج الراديوية، نسمي دورةً واحدة في الثانية بواحدة

الهرتز hertz (Hz)، نسبةً إلى الفيزيائي الألماني هاينريش هرتز (1857 ـ 1894) الذي كان أول من تمكَّن من توليد أمواجٍ راديويةٍ مخبرياً. وتَستقبل منظومةُ تضمينٍ مطالي AM radio أمواجاً راديويةً ذاتَ تردداتٍ تقع ما بين 550 و1650 كيلوهرتز KHz (kilohertz)؛ علماً بأن: 1000cps = 1KHz. هذا في حين يقع نطاقُ تضمينٍ تردّدي FM band بين 88 و 108 ميغا هرتز MHz (megahertz)؛ علماً بأن: 1000,000cps = 1MHz.

عُدْ إلى الطيف الكهرطيسي المبيَّن في الشكل 4.2. أيُّ الأمواج:

(أ) أعلى تردُّداً من أمواج الضوء المرئي؟ ....

(ب) أدنى تردُّداً من أمواج الضوء المرئي؟ ....

الجواب: (أ) أشعة غاما، الأشعة السينية، الإشعاع فوق البنفسجي.

(ب) الإشعاع تحت الأحمر، الأمواج الراديوية.

7.2 الطول الموجيّ والتردُّد

هل بإمكانك استنباط علاقةٍ عامة تربط طول هذه الأمواج الكهرطيسية بتردُّدها؟ ....

....

الجواب: إن طول الموجة متناسبٌ عكساً مع التردُّد؛ فالأمواج القصيرة تكون أعلى تردُّداً، في حين تكون الأمواج الطويلة أدنى تردُّداً (نسبيّاً).

8.2 انتشار الموجات (الحركة الموجيّة)

إن العلاقة التي وجدتَها آنفاً هي مثالٌ لصيغةٍ تصحّ لجميع أنواع الحركة الموجيّة:

سرعة الموجة = التردُّد x طول الموجة

يمكن استعمال هذه الصيغة لحساب تردُّد أي نوعٍ من الأمواج الكهرطيسية في الخواء إذا عُرِف الطول الموجيّ (أو حساب الطول الموجيّ إذا عُرِف التردُّد). لماذا؟ (راجع الفقرة 5.2) ....

....

....

الجواب: لأن لكل الأمواج الكهرطيسية السرعة نفسها في الخواء ـ وهي سرعة الضوء، أو زهاء 300،000 كم/ ثا (186،000 ميل/ ثا).

9.2 المعادلة الموجيّة

تَحَقَّقْ من إدراكك للعلاقة بين السرعة (c) والتردُّد (f) وطول الموجة (λ) في الأمواج الكهرطيسية. والصيغة هي: $c = F\lambda$؟

احسب الطولَ الموجيَّ لموجةٍ راديوية تردُّدُها 100 KHz (أي: 100،000 cps)

الجواب: 3 كم (1,86 ميل).

طريقة الحل: السرعة = التردُّد x طول الموجة

ومن ثم:

$$\text{طول الموجة} = \frac{\text{السرعة}}{\text{التردد}} = \frac{300,000 \text{ كم/ ثا}}{100,000 \text{ دورة/ ثا}}$$

$$= \frac{186,000 \text{ ميل/ ثا}}{100,000 \text{ دورة/ ثا}}$$

10.2 قوانين الإشعاع

تطلق النجومُ ـ شأنَ سائر الأجرام الحارّة ـ طاقةً كهرطيسية من مختلف الأطوال الموجيّة جميعها. وكلما ازدادت حرارة النجم ازدادت الطاقة الإشعاعية التي يطلقها، مع الإشارة إلى أن درجة حرارة النجم هي التي تحدِّد أسطع الأطوال الموجيّة.

الجدول 1.2 أربعة نجوم حارة وباردة

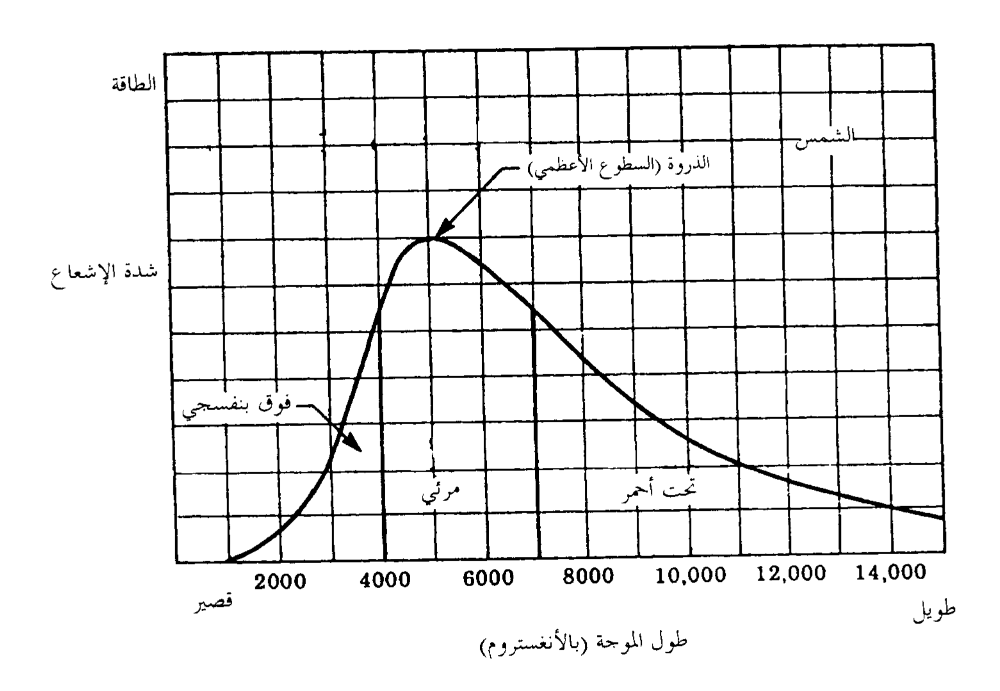
الفصل	النجم	الكوكبة	اللون	الحرارة السطحية (كلفن)
الصيف	النسر الواقع	الشلياق	أزرق ـ أبيض	10،000
الصيف	قلب العقرب	العقرب	أحمر	3،000
الشتاء	الشِّعرى اليمانية	الكلب الأكبر	أزرق ـ أبيض	10،000
الشتاء	منكب الجوزاء	الجبّار	أحمر	3،400

تطلِقُ النجومُ طاقةً تقارب ما يطلقه جسمٌ أسود blackbody، الذي هو بمنْزلة مشعاعٍ افتراضيٍّ مثالي. وينصّ قانون فين في الإشعاع Wien's law of radiation علىٰ أن الطولَ الموجيَّ λmax الذي يُصْدِر عنده جسمٌ أسود إشعاعاً أعظمياً يتناسب عكساً مع درجة حرارة الجسم (T). والصيغة هي:

$$\lambda_{max} = \frac{0.3}{T}$$

وفيها تقاس λmax بالسنتيمترات وT بالكلفن (K). ومن ثَمَّ فكلما ازدادت حرارة نجمٍ قَصُرَ الطولُ الموجيُّ الذي يُطلِق عنده إشعاعه الأعظمي.

وإذا علمنا أن بعض النجوم أشدُّ حرارةً من بعضها الآخر بآلاف الدرجات، أدركنا أن بالإمكان الحكم على درجة حرارة نجم من لونه (طول موجته). فالنجوم التي هي أشدّ حرارةً تبدو بيضاء مائلة إلى الزرقة (طول



الشكل 5.2 منحنى إشعاع الشمس.

موجي قصير)، وأبرد النجوم تبدو حمراء (طول موجي طويل). أما النجوم الحارّة جداً (ذوات الأطوال الموجيّة القصيرة جداً) والنجوم الباردة جداً (ذوات الأطوال الموجيّة الطويلة جداً) فهي غير مرئية.

ابحث في السماء عن الأمثلة الواردة في الجدول 1.2.

وينص قانون ستيفان وبولتزمان في الإشعاع Stefan-Boltzmann radiation law على أن الطاقة الكلية (E) التي يطلقها جسمٌ أسود يتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارته المطلقة (T). إذن فإن جسماً تبلغ درجة حرارته ضعفَيْ درجة حرارة الشمس يطلق طاقةً تفوق طاقة الشمس 2^4 (أو 16) مرة.

ويبيِّن منحنى الإشعاع radiation curve كميةَ الطاقة التي يطلقها جسمٌ عند أطوالٍ موجيّة مختلفة، وأيَّ هذه الأطوال الموجيّة هو الأشدّ، وكذلك

كميةَ الطاقة الكلّية التي يطلقها عند الأطوال الموجيّة كافة (تشير إليها المنطقة الواقعة تحت المنحنى).

ادرس الشكل 5.2. (أ) يكون إشعاع الشمس أعظمياً في الأطوال الموجيّة .... (ب) إن كمية الطاقة الكلية التي تطلقها الشمس كضوءٍ مرئي (أكبر، أقل) .... من الكمية التي تطلقها خارج المنطقة المرئية.

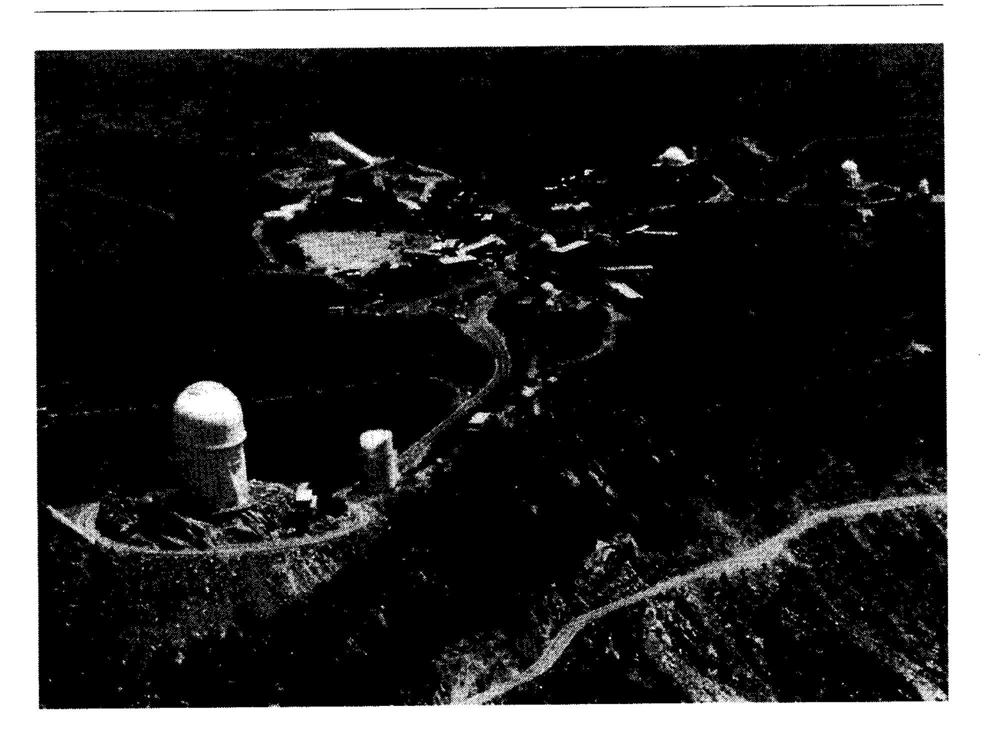
الجواب: (أ) المرئية؛ (ب) أقل.

11.2 الأرصاد الفلكية

يمتلك الفلكيون اليوم أدواتٍ هي عدَّتهم لرصد كلِّ أشكال الإشعاع الكهرطيسي من الفضاء وتحليلها. وبقطع النظر عن نوع الإشعاع المرصود، فإن الوظيفة الأساسية للمقراب هي جمع مقدارٍ كافٍ من الإشعاع لأغراض التحليل العلمي.

يَصدّ غلافُ الأرض الجوي معظمَ إشعاع الفضاء، فلا يسمح إلا لأطوالٍ موجيَّة معيَّنة بالدخول لتُرصد بالمقاريب الأرضية. ويستطيع الفلكيون على الأرض أن يرصدوا الكون عبر نوافذ windows أو مجالاتٍ طيفية ثلاثة يكون غلافنا الجوّي فيها شفافاً للإشعاع إلى حدٍّ بعيد؛ تلك هي النوافذ البصرية (الضوء المرئي) optical، والراديوية radio، وتحت الحمراء infrared.

والمرصد الفلكي astronomical observatory موقعٌ مجهَّز لرصد الأجرام السماوية. ويتحرّى الفلكيون لأرصادهم الأرضية التمركز عند الأطوال الموجيّة المرئية مواقعَ تغلب عليها سماء صافية الأديم على قمم الجبال، بعيداً عن أضواء المدن والتلوُّث (الشكل 6.2).



الشكل 6.2 موقع كِيتْ بيك، الذي يرتفع 2100 متر (6900 قدم) ويبعد 50 كيلومتراً (30 ميلاً) عن مدينة تَكْسون بولاية أريزونا الأمريكية، وهو مزوَّد بمقاريب لستة مراصد، منها: مرصد كِيتْ بيك الوطني والمرصد الشمسي الوطني، من مجموعة المراصد الفلكية البصرية الوطنية.

بِمَ تنصح فلكيّين يريدون رصد الكون في مجالات أشعة غاما والأشعة السينية والأشعة فوق البنفسجية؟ ....

....

....

الجواب: إقامة عدّة رصدهم خارج الغلاف الجوي الأرضي، فتكنولوجيا عصر الفضاء تجعل بالإمكان إجراء أرصادٍ فضائية التمركز ضمن هذه الأطوال الموجيّة من الصواريخ أو المركبات الفضائية أو حتى من محطات الرصد التي تتخذ من القمر مقرّاً لها.

12.2 المقاريب البصرية

يكوِّن المقراب البصري optical telescope صوراً لنجوم خافتة ونائية، وبإمكانه أن يجمع ضوءاً من الفضاء أكثر بكثيرٍ مما تستطيعه عين الإنسان. وقد صُنِعت المقاريب البصرية في تصميمَيْن أساسيَّيْن، فمنها الكاسرة refractors ومنها العاكسة reflectors.

وأهم أجزاء المقراب جسميَّتُه objective، وهي العدسة الرئيسية main lens (في المقاريب الكاسرة) أو المرآة mirror (في المقاريب العاكسة)، ووظيفتها جَمْعُ الضوء من جِرمٍ سماوي، وضبطه بؤرياً لتأليف صورة. تسمّى هذه الإمكانية في المقراب مقدرة تجميع الضوء light-gathering power.

تتناسب مقدرة تجميع الضوء هذه مع مساحة سطح التجميع، أو مع مربّع الفتحة aperture (قطر العدسة الجسمية، عدسةً رئيسيةً كانت أم مرآة). ويُقصد بـ قياس size المقراب قياسَ فتحته، كقولنا: مقراب قياسه 150 ميليمتراً أو 5 أمتار (6 بوصات أو 200 بوصة).

يمكنك أن ترى الصورةَ مباشرةً من خلال العدسة العينيّة[1] eyepiece التي هي بمنْزلة عدسةٍ مكبِّرة بالدرجة الأولى، أو أن تصوِّرها أو تسجِّلها وتعالجها إلكترونياً. وإذا كان قياس عدسة عينك يقارب 5 مم (0,2 بوصة)، فإن مقراباً بقياس 150 مم (6 بوصات) تكون فتحته أكبر 30 مرة أو يزيد من عدسة عينك، وتبلغ مقدرة تجميع الضوء فيها أكبر 30^2 (أو 900) مرة من قوة عينك. ومن ثم فإن نجماً قد يبدو أسطع 900 مرة باستعمال مقرابٍ بقياس 150 مم (6 بوصات) مما يبدو لعينك المجرَّدة. هذا مع العلم بأن الفلكيين يستعملون مقاريب عملاقة لكشف أجرامٍ كابية الضوء وموغلة البُعد.

(1) العينيّة عدسةٌ توفِّر للعين ـ على مسافةٍ مناسبةٍ للرؤية ـ صورةً ناشئةً عن العدسة الجسميّة. (المعرِّب)

تبدو كل النجوم أكثر سطوعاً بالنظر إليها بمقراب، مما تبدو عليه للعين المجرَّدة، إذ يتركَّز الضوءُ الإضافي الذي جمعه المقرابُ من النجم في نقطة واحدة. وباستعمال التعريض الزمني time exposure يمكن لمقرابٍ عملاق بقياس 10 أمتار (400 بوصة) أن يصوِّر نجوماً غايةً في الخفوت ربما وصلت أقدارها إلى 28، وهذا يساوي السطوع الظاهريَّ لشمعةٍ تُرى من القمر!

كم يزيد السطوعُ الذي يبدو فيه نجمٌ يُرى بمقرابٍ قياسُه 10 أمتار (400 بوصة) على ما يبدو لعينك المجرَّدة؟ وضِّح ذلك ....

....

....

الجواب: يبدو أسطع 4 ملايين ضعفٍ وأكثر. فالمقرابُ الذي قياسه 10 أمتار (400 بوصة) هو أكبر 2000 مرة من عدسة عينك، وبذلك فهو يُجمِّع كميةً من الضوء أكبر 2000^2 (أو 4) ملايين مرة.

13.2 المنظار ثنائي العينية

يعدّ المنظارُ أوّلَ الأدوات العملية للرصد، لسهولة حمله واستعماله. فَوَصْف منظارٍ بأنه 50 × 7 يعني أن قياس فتحته 50 مم، وأن × 7 تعيِّن درجة التكبير.

لماذا تُظهِر لك المناظير والمقاريب أجراماً سماويةً تزيد كثيراً عما يمكنك رؤيته بعينك المجرَّدة؟ ....

....

الجواب: لأن المناظير والمقاريب تستطيع تجميع كمية ضوءٍ أكبر بكثير مما تستطيع العين تجميعه. (تذكَّرْ أن مقدرة تجميع الضوء متناسبةٌ مع مربع الفتحة).

14.2 المقاريب الكاسرة

للمقراب الكاسر عدسةٌ جسميَّةٌ objective lens رئيسية مثبَّتة على النهاية الأمامية لأسطوانةٍ أنبوبية. يدخل ضوءُ النجم هذه العدسةَ وينكسر refract مؤلِّفاً صورةً قرب مؤخَّر الأنبوب.

يسمى البُعدُ بين هذه العدسة والصورة الطولَ البؤري focal length. ويمكنك النظر إلى الصورة باستعمال عدسةٍ مكبِّرة قابلةٍ للنّزع تسمى العينيّة ocular أو eyepiece. يجدر بالذكر أن الأنبوب مصمَّم ليحجب الغبارَ والرطوبة والضوء المتبعثر.

ومنذ زمن يرقى إلى سنة 1609 وجَّه العالم الفلكي غاليليو غاليليه Galileo Galilei (1564 ـ 1642) مقراباً كاسراً نحو السماء. وكان قياس أكبر مقرابٍ صَنَعَه لا يتجاوز 50 مم (بوصتين).

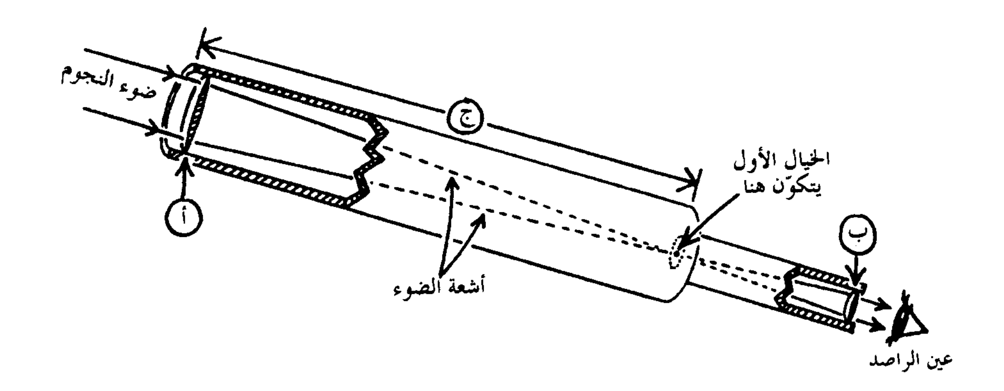
أما اليوم فتقع قياساتُ المقاريب الكاسرة بين 60 مم (2,4 بوصة) للمبتدئين في عالم الفلك، و 1 م (40 بوصة) وهو أكبر مقراب في العالم، يوجد في مرصد ييركيز Yerkes Observatory في ويليامزبي بولاية ويسكونسن الأمريكية الذي تمَّ إنشاؤه سنة 1897.

من الشكل 7.2 عيِّنْ على المقراب الكاسر: (أ) العدسة الجسمية؛ (ب) العدسة العينية؛ (ج) الطول البؤري للجسميَّة. واذكر الغرض من (أ) و (ب).

(أ) ....

(ب) ....

(ج) ....



الشكل 7.2 مقرابٌ كاسر بعدسةٍ جسميةٍ ذات طولٍ بؤريٍّ طويل، وعدسةٍ عينيةٍ ذات طولٍ بؤريٍّ قصير.

الجواب:

(أ) العدسة الجسمية: لتجميع الضوء وتأليف الصورة.

(ب) العدسة العينية: لتكبير الصورة التي كوَّنتها الجسمية.

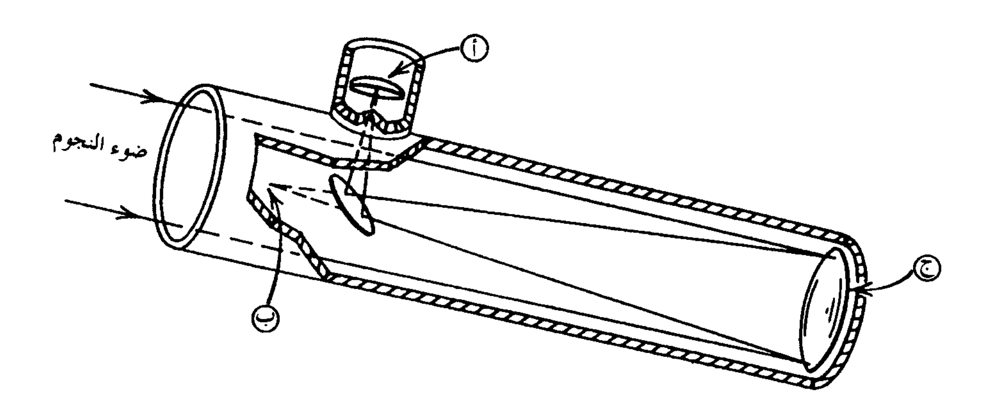
(ج) الطول البؤري للجسمية.

15.2 المقاريب العاكسة

للمقراب العاكس reflecting telescope مرآةٌ مقوَّسةٌ صقيلةٌ جداً هي المرآة الرئيسية primary mirror، مثبّتة في طرف أنبوب مفتوح. فعندما يَرِدُ ضوءُ النجم على هذه المرآة ينعكس نحو أعلى الأنبوب مؤلِّفاً صورةً عند ما يسمى بالبؤرة الأولى prime focus.

يمكنك وضع أفلام فوتوغرافية أو تجهيزات إلكترونية عند البؤرة الأولى لتسجيل الصورة، أو يمكنك استعمال مرايا إضافية لعكس الضوء مرة أخرى إلى موضعٍ آخر تشاهَد منه الصورة. فمقراب نيوتن Newtonian telescope

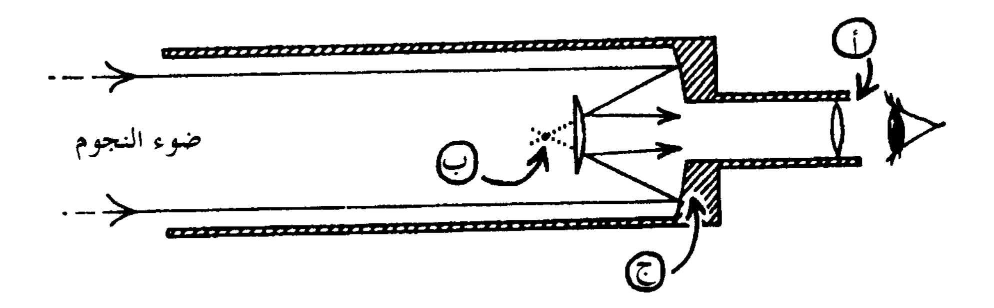
يَستعمل مرآةً صغيرةً مستويةً لعكس الضوء عبر ثقبٍ في جهة المقراب التي تشمل العينيّة (الشكل 8.2).



الشكل 8.2 رسم لمقراب نيوتن العاكس يُظهِر مرآته الرئيسية، ومرآته الثانويةَ الصغيرة المنحرفة، وعدستَه العينية.

ويستعمل مقراب كاسيغرين Cassegrain telescope مرآةً صغيرةً محدَّبة هي المرآة الثانوية secondary mirror لعكس الضوء عبر ثقبٍ في المرآة الرئيسية عند النهاية السفلى للأنبوب (الشكل 9.2). وهذا النوع من المقاريب ململَمٌ وأكثر تراصّاً من المقراب الكاسر أو مقراب نيوتن العاكس ذي الفتحة المماثلة. ومن أنواع المقاريب الأخرى مقراب شميدت ـ كاسيغرين Schmidt-Cassegrain telescope الذي يجمع مرآةً رئيسيةً كرويةً متناهيةَ قِصَرِ الطول البؤري عند النهاية الخلفية لأنبوبٍ محكم الختم، إلى عدسةٍ رقيقةٍ في المقدمة.

تتفاوت المقاريب العاكسة من حيث قياساتها، من مقراب نيوتن للمبتدئين بقياس 75 مم (3 بوصات)، إلى أكبر مقرابٍ عاكسٍ في العالم بقياس 10م (400 بوصة) وهو مقراب كيك Keck Telescope على قمة البركان



الشكل 9.2 **رسم تمثيلي لمقراب كاسيغرين العاكس، يُظهِر مرآته الرئيسية المقعَّرة، ومرآته الثانوية الصغيرة المحدَّبة، وعدسته العينية.**

الهاجع ماونا كيا Mauna Kea بولاية هاواي الأمريكية (الشكل 15.2).

عُدْ إلى الشكلين 8.2 و 9.2 وعيِّن على المقراب العاكس مرآته الرئيسية؛ وعينيَّته؛ وبؤرته الأولى. (أ) ....؛ (ب) ....؛ (ج) ....

الجواب: (أ) العينيَّة؛ (ب) البؤرة الأولى؛ (ج) المرآة الرئيسية.

16.2 المقاريب العاكسة مقابل المقاريب الكاسرة

ما الفرق الأساسي بين المقراب العاكس والمقراب الكاسر؟ فصِّل إجابتك ....

....

الجواب: الجزء البصري الرئيسي (الجسميّة). ففي حين يَستعمل المقراب العاكس مرآةً، يَستعمل المقراب الكاسر عدسةً لتجميع ضوء النجوم وتركيزه في بؤرة.

17.2 العدد البؤري (عدد f)

تُعْرَف المقاريب غالباً بقياس فتحتها وعددها البؤري كليهما. والعدد البؤري f number (أو عدد f) هو نسبة الطول البؤري للعدسة أو المرآة الرئيسية إلى قياس الفتحة. وتتجلى أهمية هذه المواصفات في أن درجة نصوع الصورة التي يولِّدها المقراب، وقياسَها وجلاءها تتوقف كلُّها على قياس الفتحة والطول البؤري للعدسة أو المرآة.

فإذا كان لدينا على سبيل المثال «مقراب عاكس ذو 150 مم (6 بوصات)، f/8"، قَصَدنا بذلك أن قطر مرآته الرئيسية هو 150 مم (6 بوصات) وبطولٍ بؤري قدره 1200 مم (150 × 8) أو 48 بوصة (6 × 8).

ما الطول البؤري لمرآة مقراب ماونت پالومار Mount Palomar بولاية كاليفورنيا الأمريكية إذا كانت مواصفاته: 5 م (200 بوصة)، f/3.3؟ ......

....

الجواب: 16,5 م (660 بوصة، أو 55 قدماً).

18.2 الأخيلة

تَظهر النجوم كلُّها، ما عدا الشمس، في المقراب نقاطاً من الضوء، وذلك بسبب بُعدها الشاسع. ويبدو القمر والكواكبُ فيه أقراصاً صغيرة. ويكون قياس الخيال image size متناسباً مع الطول البؤري لعدسة المقراب أو مرآته الرئيسية.

على سبيل المثال، تولِّد مرآة طولها البؤري 2,5 مترين (100 بوصة) خيالاً للقمر بقطر يقارب 2,5 سم (بوصة واحدة). وقد تقدَّم لك أن للمرآة ذات 5 م (200 بوصة)، f/3,3 طولاً بؤرياً هو 16,5 م (660 بوصة)، أي أكثر من ستة أضعاف الطول البؤري الأول، ومن ثم فهي تعطي خيالاً للقمر أكبر

قطراً بنحو ست مرات، أي 15 سم (6 بوصات).

تؤلِّف العدساتُ والمرايا أخيلة حقيقية real images مقلوبة. (ينشأ الخيال الحقيقي من التقارب الفعلي لأشعة الضوء). ولما كانت الأخيلة المقلوبة أمراً غير مهم في العمل الفلكي، ولا سيما إذا علمنا أن تقويمها يتطلب مزيداً من عملياتٍ ضوئية ماصَّة للضوء، لم يكن ثمة أي محاولة لتقويم وضع الأخيلة في المقاريب.

بِمَ يتحدَّد قياس الصورة التي يكوِّنها المقراب؟ ....

....

الجواب: بالطول البؤري للعدسة الرئيسية أو المرآة.

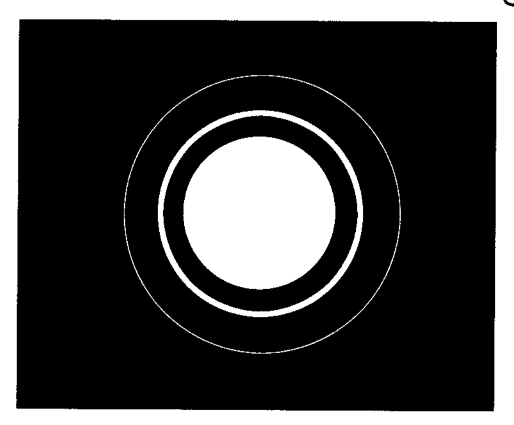
19.2 مقدرة الفصل (المَيْز)

يتعذَّر على أيِّ مقرابٍ توليد صُوَرٍ مثالية التركيز البؤري مهما بلغت جودته من الناحية البصرية، وذلك لأسباب تتعلق بطبيعة الضوء نفسه. ومقدرة الفصل أو المَيْز resolving power تعبير عن مدى قدرة المقراب على توليد صُوَرٍ واضحةٍ ومفصَّلة بشروط رصدٍ مثالية.

تتناسب مقدرة المَيْز طرداً مع قياس الفتحة وعكساً مع الطول الموجيِّ للضوء الوارد. فإذا كان الضوءُ واحداً، كان لمقرابٍ بفتحة 150 مم (6 بوصات) مقدرة ميزٍ تعادل ضعفَيْ مقدِرة آخر بفتحة 75 مم (3 بوصات).

ينتقل ضوءُ النجوم بخطوطٍ مستقيمة عبر الخواء. ولكن عندما تمرُّ موجاتُ ضوء النجوم قريباً من حافَة عدسة أو مرآة فإنها تنتشر في ظاهرة تسمّى الانعراج diffraction، وتتركز في بؤرةٍ عند نقاطٍ مختلفة. وبسببٍ من هذا الانعراج يظهر خيالُ النجم الذي ألَّفَته العدسةُ أو المرآةُ تحت التكبير قرصاً صغيراً ضبابياً تحيط به حلقاتٌ باهتة، لا نقطةٌ ضوئيةٌ وحيدة. يسمى

هذا القرص نموذجَ الانعراج diffraction pattern (الشكل 10.2). ومن الحقائق أن انعراج الضوء يحدّ من مقدرة المَيْز.



الشكل 10.2 نموذج انعراج (صورة نجم)

فإذا تجاورَ نجمان، فقد يتداخل نموذجا انعراجهما فيبدوان نجماً واحداً. تنطمس كذلك المظاهرُ التضاريسيةُ كفوّهات القمر ومعالم الكواكب بفعل الانعراج.

تحدِّد مقدرة المَيْز الزاويةَ الصغرى بين نجمَيْن، التي يمكن عنها توليد أخيلةٍ منفصلة مميَّزة. وتبلغ هذه الزاويةُ بالنسبة إلى العين البشرية نحواً من دقيقةٍ قوسية (1َ)، أي بقياس قرصٍ من الأسبرين يُرى من بُعد 35 متراً (110 أقدام).

بيِّن السبب في أن ما قد يبدو للعين نجماً وحيداً ربما يتكشَّف عن نجمَيْنِ متدانيَيْن في المقراب ....

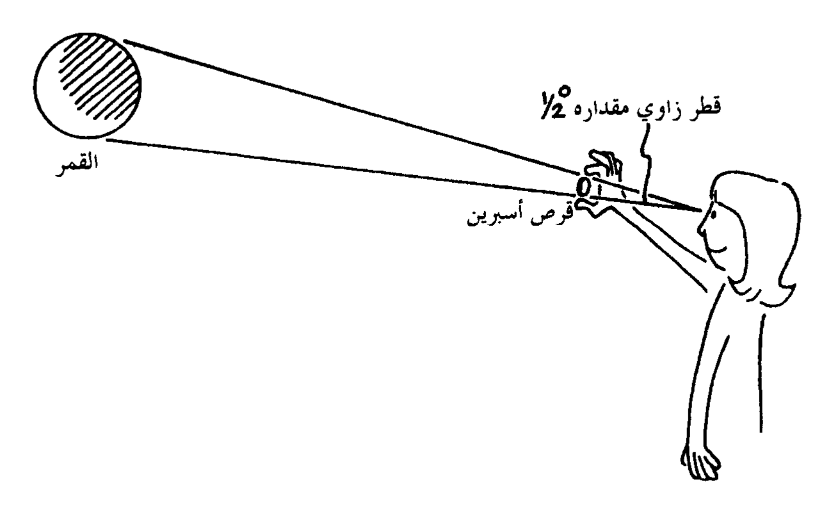
....

الجواب: تتناسب مقدرةُ الميز مع قياس الفتحة. وواضح أن فتحةَ المقراب أكبرُ بكثير من عين الإنسان.

20.2 قوة التكبير

إن قوة التكبير magnifying power لمقراب هي نسبة الحجم الظاهري لِجِرمٍ يُرى بوساطة مقراب، إلى حجمه عند رؤيته بالعين وحدها. والمقاريب تكبِّرُ القُطرَ الزاويَّ للأجرام، ومن هنا يظهر الخيالُ أقرب من الجِرم.

خذ مثلاً القطرَ الزاويَّ للقمر البدر. يبلغ هذا القطر في عينك $\frac{1}{2}$°، أي بقطر قرصٍ من الأسبرين تحمله وذراعك مبسوطةٌ إلى مداها (الشكل 11.2). فلو ازدادَ الحجمُ الظاهريُّ للقمر 20 ضعفاً بحيث بدا قطرُه الزاويُّ 10° بالنظر إليه باستعمال مقراب، كانت قوةُ التكبير 20، وتُكتب هكذا: × 20.



الشكل 11.2 القُطر الزاويّ.

إن قيمة قوة التكبير في مقراب منوطةٌ بالعدسة العينية المستعملة. وتُحسب هكذا:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{الطول البؤري للمقراب}}{\text{الطول البؤري للعينية}}$$

والمقراب مزوَّدٌ عادةً بعدّة عدساتٍ عينية بأطوالٍ بؤريةٍ مختلفة، تسمح لك بتغيير قوة تكبيره تبعاً لتغيُّر الأجرام المرصودة.

(أ) كم تبلغ قوة تكبير مقراب بقياس 150 مم (6 بوصات)، f/8 باستعمال عينيةٍ طولُها البؤري 12,5 مم ($\frac{1}{2}$ بوصة)؟ ....

(ب) كيف يمكنك زيادة قوة تكبير هذا المقراب؟ ....

الجواب: (أ) × 96.

طريقة الحل:

$$\text{قوة التكبير} = \frac{\text{الطول البؤري للمقراب}}{\text{الطول البؤري للعينية}} = \frac{1200\text{مم}}{12,5\text{مم}} = \frac{48\ \text{بوصة}}{1/2\ \text{بوصة}}$$

(ب) باستعمال عدسةٍ عينية أقصر طولاً بؤرياً.

21.2 التكبير المجدي الأعظمي

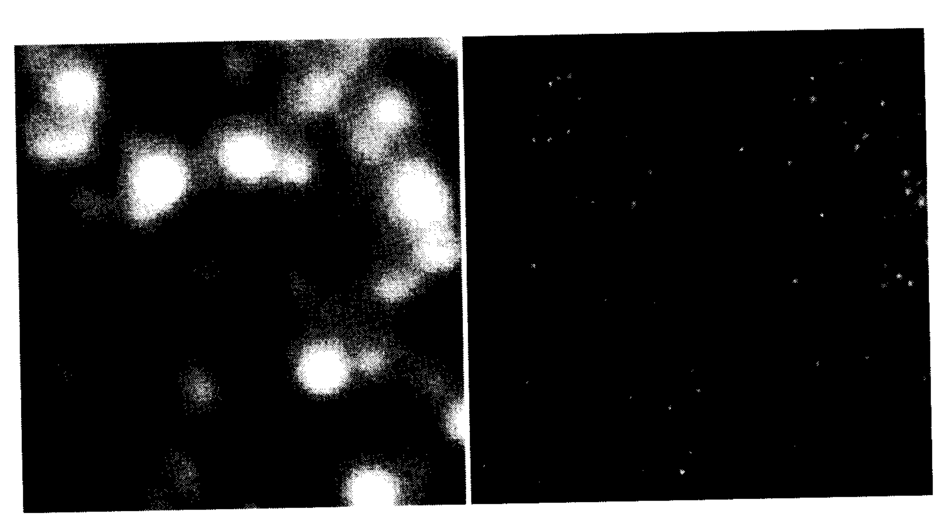
من الخطأ - عند اقتنائك مقراباً - المبالغة في التأكيد على قوة التكبير؛ إذ لن تستطيع زيادةَ قوة تكبيره المجدية إلى ما لانهاية عن طريق تغيير عدساته العينية.

وبالنظر إلى أنّ ضوءَ النجوم يجب أن يَمرّ عبر جوّ الأرض لكي يصل إلى المقاريب الأرضية، فإنّ الاضطرابات الجويّةَ تتسبَّب في الحصول على صُوَرٍ كليلةٍ غير واضحة. وما نسميه جلاء الصورة (الرؤية) seeing يُقصد به مقدار استقرار الأحوال الجوية التي تؤثر في وضوح الصورة المقرابية؛ فإذا كان الهواء ساكناً كان وضوح الصورة حسناً وضَوْء النجوم مستقراً، وإذا كان الهواء مضطرباً كانت الرؤية رديئةً والنجومُ دائبةَ الوميض.

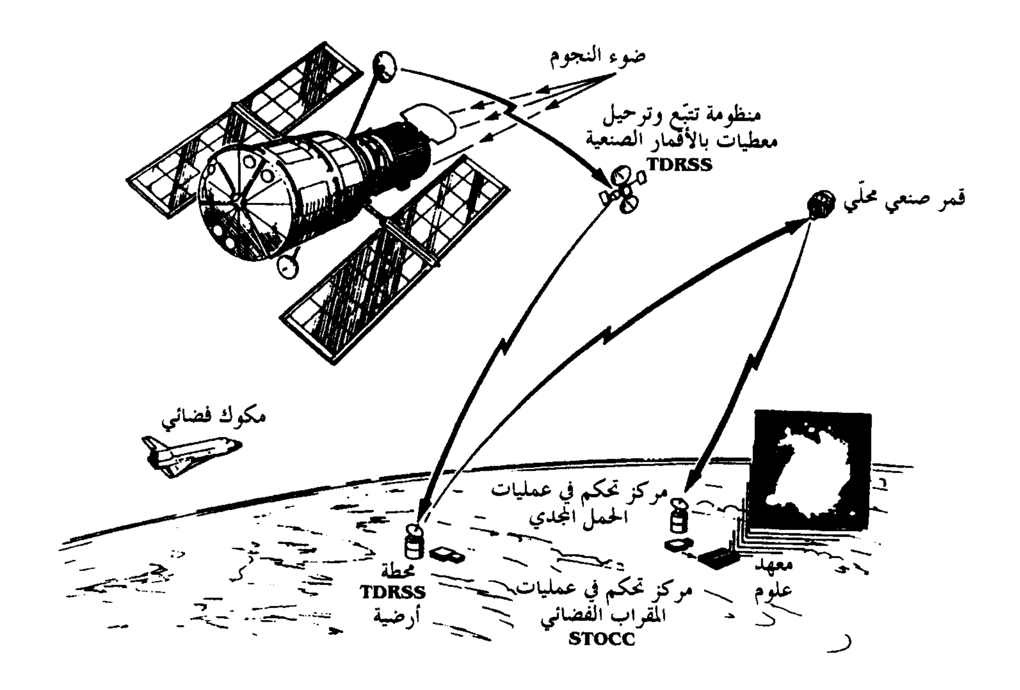
يبلغ الحدُّ العملي للتكبير المجدي practical limit of useful

magnification في أي مقراب زهاء ضعفَيْ فتحته بالميليمترات (أو 50 ضعفاً بالبوصات). وكلُّ ما تقدِّمه القوَّةُ العالية إنما هو تكبير الصورة بما فيها من ضبابيّةٍ ناشئةٍ عن انعراج الضوء أو رداءة الرؤية، لكنها لا تُظهِر التفاصيلَ الدقيقة.

هذا التشويش أو التداخل الناجم عن الغلاف الجوي الأرضي ينأى عنه المقراب الفضائي (المتمركز في الفضاء)؛ فهو يرصد لمدىً أبعد ويعطي صُوَراً أوضح مما تفعله المقاريب الراصدة من الأرض (الشكل 12.2). يجري تشغيل المراصد الفضائية من الأرض بالتحكم من بُعد، على حين يقوم روّاد الفضاء بصيانة المقاريب الفضائية وإصلاحها ورفع مستوى أدائها في مداراتها، ويمكنهم إعادتها إلى الأرض عند اللزوم لأغراض الإصلاح الشامل.



الشكل 12.2 أثر الضبابية الجوية على المَيْز. الحشد النجمي الكُرَتي 14 ـ M، الذي يبعد 70،000 سنة ضوئية، مرصوداً (أ) بمقراب أرضي بفتحة 4 أمتار من مرصد Cerro Tololo Inter-American Observatory في تشيلي؛ (ب) بمقراب هَبلْ الفضائي. مَيْز الصورة في (أ) هو 1,5 ثانية قوسية، وفي (ب) هو 0,08 ثانية قوسية.



الشكل 13.2 مسار المعطيات التي يبثها مقراب هَبلْ Hubble الفضائي.

وما برح أولُ مرصدٍ عاملٍ وُضِع في مداره حول الأرض سنة 1990 يرسل معطياتٍ وصُوَراً مذهلة. ذلك هو مقراب هَبلْ الفضائي Hubble Space Telescope (HST) الأمريكي/الأوروبي المشتَرك، الذي يبلغ قياس مرآته الرئيسية 2,4 مترين (94 بوصة)، وهو مجهَّز بخمسة أجهزةٍ للرصد بالضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية والأشعة تحت الحمراء (الشكل 13.2).

ما هو الحدّ العملي للتكبير المجدي لمقرابٍ بفتحة 150 مم (6 بوصات)؟.....................

الجواب: × 300.

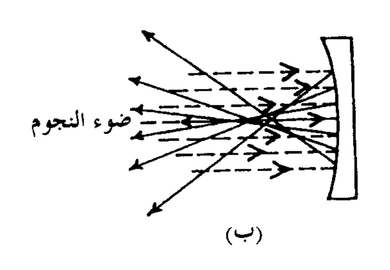
22.2 الزيغ المقرابي

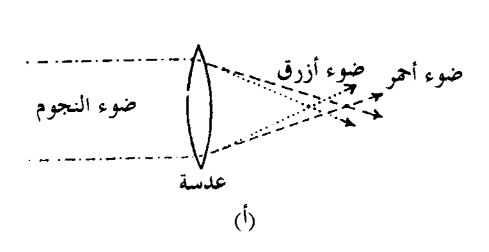
الزيغ aberration عموماً خللٌ في الصورة التي تولِّدها منظومةٌ بصرية.

والزيغ اللوني chromatic aberration عيبٌ في بنية العدسة. يتألف ضوء النجوم من كل ألوان الطيف؛ فإذا مرَّ هذا الضوء من خلال عدسة، ركَّزت العدسةُ ألواناً مختلفة (أطوالاً موجيّة) على أبعادٍ متباينة قليلاً. ويؤدي هذا التفاوت البسيط إلى تشويه وضوح صورة النجم بألوانٍ زائفة (الشكل 10.2). يَبطل هذا العيبُ بالعدسة اللالونية achromatic lens، وهي مجموعة عدستَيْن أو أكثر، مصنوعةٍ من ضروبٍ شتى من الزجاج.

تعكس مرآةٌ دقيقةُ الانحناء كلَّ ألوان ضوء النجوم إلى بؤرةٍ عند النقطة ذاتها. ولا تعاني الصورةُ التي يؤلِّفها مقرابٌ عاكس من ألوانٍ زائغة.

أما الزيغ الكروي spherical aberration فهو خللٌ في المرآة من شأنه أن يشوِّه وضوح الصورة النجمية، وناشئ عن عيوب في السطوح الكروية (ومن هنا اسمه). هنا ينعكس الضوءُ النجمي عن أجزاءٍ من المرآة على أبعادٍ متفاوتة من المحور البصري إلى نقاطٍ بؤرية متباينة شيئاً ما (الشكل 14.2).





الشكل 14.2 (أ) الزيغ اللوني. تحني العدسةُ الأمواجَ الضوئية الزرقاء (التي هي الأقصر) إلى أقصى درجة، وتركِّزها في بؤرةٍ أقرب إلى العدسة من الأمواج الضوئية الحمراء (التي هي الأطول). (ب) الزيغ الكروي. المرآة غير المنتظمة التقوُّس لا تعكس الأمواجَ الضوئية إلى بؤرةٍ واحدة.

والمرآة المكافئية القَطْع parabolic mirror متحرّرةٌ من هذا العيب؛ فشكلُها أقلُّ تقوُّساً عند الأطراف منه عند المركز، ومن ثم فهي تعكس الضوءَ النجميَّ جيداً إلى نقطةٍ بؤرية وحيدة. وثمة المقراب العاكس ـ الكاسر catadioptric telescope المزوَّد بعدسةٍ أو صفيحةٍ مصحِّحة عند النهاية العلوية من الأنبوب، لتصحيح الزيغ في مرآةٍ رئيسيةٍ كروية الشكل.

لِمَ يتعيَّن عليك دوماً توخّي أفضل الأجزاء البصرية نوعيةً لمقرابك؟

....

الجواب: تجنُّباً للزيغ في الصورة.

23.2 تصميم المقاريب والاختيار منها

قد تتساءل أيّ المقاريب هو الأفضل: الكاسرة أم العاكسة؟ ذلك منوطٌ بطبيعة التطبيق المقصود، إذ إن لكل نوعٍ من المقاريب مزاياه ومثالبه قياساً إلى غيره.

فالمقاريب الصغيرة الخاصة بالهواة يمكن أن تكون إما كاسرةً وإما عاكسة. فالأولى (الكاسرة) متينة الصنع قليلةُ مطلب الصيانة بالنظر إلى أنبوبها المحكم الإغلاق؛ في حين توفِّر الأخرى (العاكسة) فتحةً أكبر مقابل ثمنها، ومن الممكن صنعها في البيت. ومن أنواعها مقراب دوبسون Dobsonian telescope، وهو مقرابٌ نيوتنيٌّ عاكس مركَّب على حاضنٍ بسيط، تعود سعة انتشاره إلى سهولة استعماله ورخص ثمن قياساتٍ معيَّنة منه. ومع أن المقاريب العاكسة ـ الكاسرة أغلى ثمناً تبعاً لكل واحدةٍ قياسية من فتحتها، فإنها (ولا سيما منها مقاريب شميدت ـ كاسيغرين Schmidt-Cassegrain ومكستوف ـ كاسيغرين Maksutov-Cassegrain) أكثر أنواع المقاريب تراصّاً وقابليةً للنقل.

وأيّاً كان اختيارك، فإن ثبات الحاضن mount الحامل لمقرابك الصغير أمرٌ أساسيٌّ جداً، إذ لا شيء يُفسِد عليك اندفاعك ورغبتك في الرصد أكثر

من مقرابٍ رديء النوعية، مهتزّ الحاضن يعطي صوراً غائمةً مضطربة.

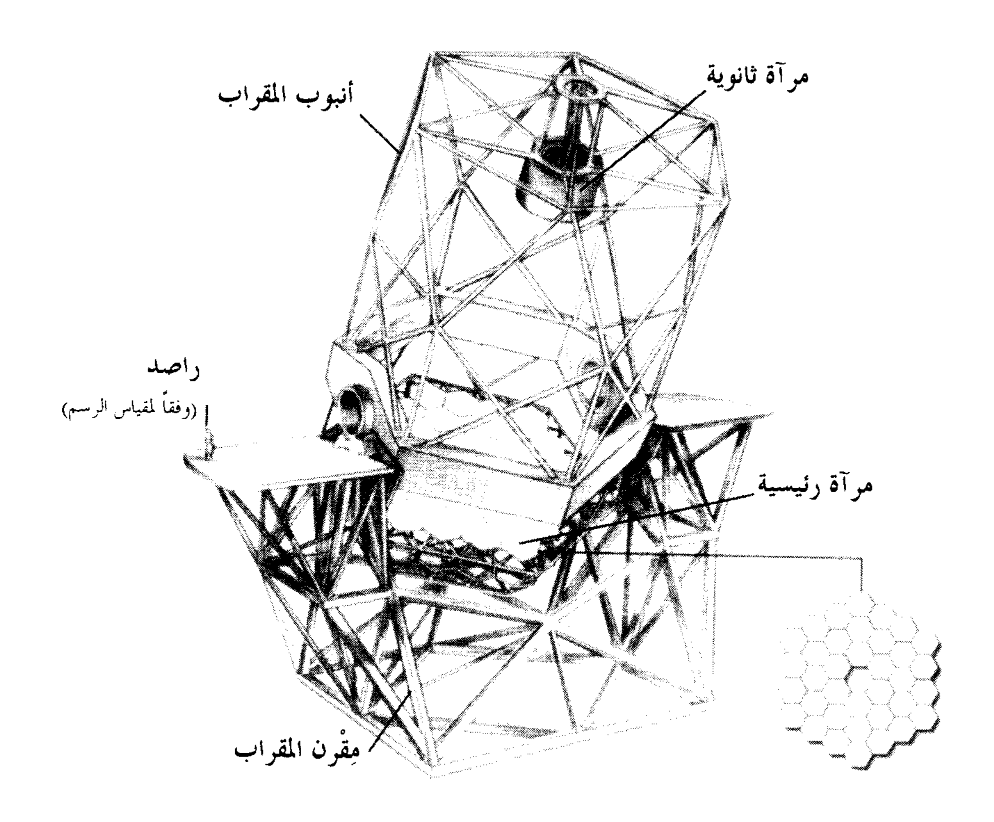
تُستعمل المقاريبُ الكاسرة الكبيرة عندما يكون القصد الأول هو الجودة والميز العالي في الصورة. مثال ذلك رصد تفاصيل سطح القمر والكواكب، أو رصد المنظومات النجمية المزدوجة.

بالمقابل، تستعمل المقاريب العاكسة حيثما تكون الأهمية الأولى معلّقةً على الفتحة، كما هو الحال عند سبر أخفت الأجرام وأقصاها. هذا إضافةً إلى أنها أسهل صنعاً وأكثر جدوى اقتصادية من المقاريب الكواسر. وتتيح البصريات «المطويّة» folded optics إمكان اختزال الطول الفيزيائي للمقاريب العاكسة الكبيرة، بحيث يصبح بالإمكان إيداعها داخل قبابٍ أصغر مما يلزم المقاريب الكاسرة. تُدعم المرآة الرئيسية برافدةٍ خلفية تحول دون تراخيها وانهدالها بفعل الثقالة، كما يحصل في العدسات الضخمة من تراخٍ مع الزمن.

وعلماء الفلك جادّون في اصطناع مقاريب أكبر من كل ما سبق، تتّصف بتقنياتِ رصْدٍ جديدة من شأنها زيادة تجميع الضوء ورفع مقدرة الميز (الشكل 15.2).

تتميّز أحدثُ المقاريب اليوم بمرايا أحاديّة monolithic mirrors أخفّ وزناً، مسبوكةٍ كقطعةٍ واحدة، أو بمرايا مجزّأة segmented mirrors هي توليفة من مرايا منفصلة (انظر الشكل 15.2) يمكن استعمالها منفردةً أو مجتمعة بفضل منظومة تحكُّم بالكومبيوتر. أما المقاريب المركّبة multiple telescopes، التي تحوي أكثر من مرآة رئيسية واحدة، فتَنقلُ الضوءَ الذي تجمّعه كلُّ المرايا الرئيسية إلى نقطةٍ بؤريةٍ مركزية تؤلّف الصورة كما لو أنها مرآةٌ واحدةٌ ضخمة.

تجدر الإشارة إلى أن أكبر مقرابٍ جرى تمويله حتى الآن هو المقراب العملاق Very Large Telescope (VLT) بفتحة 16 متراً، الذي ينتمي إلى المرصد الأوروبي الجنوبي European Southern Observatory، والذي يشتمل



الشكل 2 .15 رسم تخطيطي لمقراب كيك Keck في هاواي بالولايات المتحدة، الذي يَستعمل تصميماً لمرآةٍ مجزَّأة لأغراض البحث البصري وتحت الأحمر. تتراصف ـ بفضل تحكُّمات بالكومبيوتر ـ ستٌّ وثلاثون مرآةً مسدَّسة الأضلاع تراصفاً دقيقاً، يبلغ قطر كلٍّ منها قرابة مترين (6 أقدام) بسُمْك 7,5 سنتمترات (ثلاث بوصات)، لتؤلِّف سطحاً واحداً متناغماً يؤدي دور مرآة ضخمة بقطر 10 م (33 قدماً). يمكن أن يعمل مقراب كيك I وصِنْوه كيك II معاً أو كلاًّ منهما على حدة.

على تصميمٍ لمرآةٍ مركَّبة باستعمال أربعة مقاريب منفصلة بفتحة 8,2 م.

ومن الطريف أن أكبر مقاريب العالم معظمها يضم مراكز استقبالٍ ممتعة للزائرين، وينظِّم برامجَ سياحة ذاتيةٍ شائقة للعموم (الجدول 2.2).

الجدول 2.2 أكبر المقاريب البصرية في العالم

اسم المقراب	قطر الفتحة (بالأمتار)	اسم المرصد ومكانه	الوصف
المقراب العملاق1	16,4	المرصد الأوروبي الجنوبي، سيرو پارانال، تشيلي	أربعة مقاريب منفصلة بفتحة 8,2 م. يعمل منها آنتو وكويين وميليپال.
المقراب المنظاري الكبير	11,8	قمة جبل غراهام، أريزونا	مرآتان بقياس 8,4 م، بمَيْز مرآةٍ واحدة بقياس 23 م.
كيك I وكيك II	10,0	W.W.Keck ماونا كيا، هاواي	مرايا مجزّأة، بقياس 85 م لكل منها؛ تستعمل كمقياس تداخل بصري.
هوبي - إيبرلي	9,2	مكدونالد، قمة جبل فوكيز، تكساس	مرآة كروية مجزّأة، بمسقط رأسي ثابت؛ للأغراض الطيفية فقط.
مقراب سوبارو[1]	8,2	مرصد اليابان الفلكي الوطني، ماونا كيا، هاواي	مرآة رئيسية هلالية خفيفة (22,8 طناً) بسُمك 20 سم؛ إسناد الفاعل.
جيميني نورث وجيميني ساوث[1]	8,0	جيميني[2] ماونا كيا، هاواي وسيرو باشون، تشيلي	صنوان متعدّدة الجنسيات؛ استغراق مفتوح للسماء الشمالية والسماء الجنوبية.
المقراب المتعدد المرايا (MMT)[3] ماجلان I[1] وماجلان II[1]	6,5 6,5	مرصد سميثسون للفيزياء الفلكية، جبل هوبكينز، أريزونا. لاس كامپاناس، تشيلي	مرآة رئيسية خفيفة: بصفيحة أمامية مقعّرة، وصفيحة خلفية مستوية، ونموذج نخروبي من عروقٍ زجاجيةٍ بينهما.

(1) قيد الصنع.
(2) منشآت المراصد الفلكية البصرية الوطنية (NOAO)، التي تتخذ إدارتها من تكسون (أريزونا) مقراً لها.
(3) نموذج محوَّر.

اسم المقراب	قطر الفتحة (بالأمتار)	اسم المرصد ومكانه	الوصف
مقراب السَّمت الكبير	6,1	Malcolm Knapp Research Forest، كولومبيا البريطانية	مرآة زئبقية تشير إلى سمت الرأس، لأعمال المسح؛ غير مرن للتوجيه.
مقراب بولشوي السمتي - الارتفاعي	6,0	المرصد الفيزيائي الفلكي الخاص، جبل باستاخوف، زيلينشوكسكايا، روسيا	يركَّب على حاضن سمتي - ارتفاعي (يعيِّن السمت والارتفاع).
مقراب جورج إيليري هيل	5,0	پالومار جبل پالومار، كاليفورنيا	جولات سياحية سيراً على الأقدام؛ صالة عرض للزوّار حيث يمكن رؤية مقراب هيل.
مقراب ويليام هيرشل	4,2	مرصد غرينتش الملكي لا پالما، جزر الكناري، إسبانيا	(مرصد للهواة)
مقراب نيكولاس ميوول	4	مركز كِيتْ پيك الوطني[1] كِتْ پيك، أريزونا	مركز استقبال وبرامج رصد ليلي؛ جولات سياحية ذاتية حرّة.
ڤيكتور بلانكو	4	سيرو تولولو إنتر أمريكان[1] سيرو تولولو، تشيلي	صنو مقراب ميوول
المقراب الأنغلو - أسترالي	3,9	مرصد كونابران الأنغلو - أسترالي، نيوساوث ويلز، أستراليا	مرآة Cer-Vit؛ يركَّب على حاضن استوائي.

(1) منشآت المراصد الفلكية البصرية الوطنية (NOAO)، التي تتخذ إدارتها من تكسون (أريزونا) مقراً لها.

ولا غرو، فقد شهد أداء المقاريب الكبيرة تطوُّراً مثيراً بإدخال تقنياتٍ حديثة ومبتكراتٍ جديدة، منها ما يسمى بالبصريات المعدِّلة adaptive optics التي تضبط المرايا بحيث تصحِّح التشوُّهات السريعة الخاطفة (أجزاء المئة من الثانية) الناشئة عن اضطراباتٍ في الغلاف الجوي الأرضي؛ ومنها ما يسمى بالبصريات الفاعلة أو النشطة active optics التي تصحِّح أطول التشوُّهات المرآوية زمناً (دقائق أو ساعات) الناشئة عن قوة الثقالة والتغيرات الحرارية والرياح.

بِمَ يمتاز المقرابُ البصري على العين المجرَّدة؟ ....

....

....

الجواب: بمقدرة تجميع ضوءٍ ومَيْز أعلى. ويمكن تجهيز المقراب بحيث يسجِّل الضوءَ لمدة طويلة.

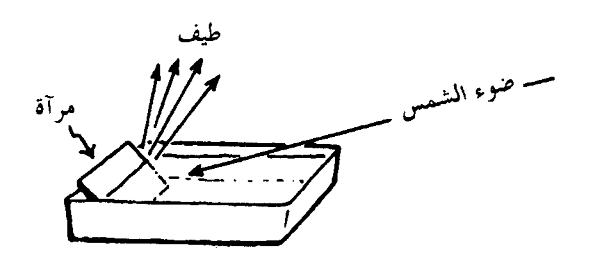
2.24 وسائل معزِّزة للمقراب

لما كان زمنُ البحث الفلكي عاليَ المطلب، فإن الفلكيين لا يقتصرون على مجرَّد الجلوس إلى المقاريب العملاقة والرصد ليس غير، بل إنهم في العادة يتابعون أعمال رصدهم على شاشة إظهار كومبيوترية! إذ يجري تسجيل ضوء النجوم، إما بصورةٍ مباشرة وإما بعد مروره بمنظومات تصويرٍ إلكترونية، لدراسته فيما بعدُ دراسةً مستفيضة، وكذلك للحصول على صور. وقد بات استعمال الكمبيوتر الفعّال اليوم أمراً أساسياً بغية جمع معطياتٍ فلكية، تمهيداً لمعالجتها وتحليلها والاستفادة منها.

ويعدّ عنصر القرن الشِّحْنِي Charge Coupled Device (CCD) أداة كشفٍ إلكترونيةً شائعة، وهي جذاذة سيليكونية مؤلَّفة من عناصر دقيقة حسّاسةٍ

للضوء، ولها خاصّية تحويل الضوء النجميّ إلى نبضاتٍ كهربائية تلائم الكمبيوتر وغيره من التجهيزات المتطوِّرة لمعالجة الصُّور وإظهارها. ويلاحظ أن عناصرَ القرن الشِّحني أكثرُ حساسيةً للضوء من أفلام التصوير الفوتوغرافي، وذات قدرةٍ على تسجيل الأجرام الساطعة والخافتة في آنٍ معاً.

وكثيراً ما يُرفَق المقرابُ بأداة تسمى راسم الطيف spectrograph، إذ إن ضوء النجوم ليس لوناً واحداً بل مزيجاً من الألوان، أو الأطوال الموجيّة (الشكل 16.2). ويستنبط علماء الفلك جُلَّ معلوماتهم عن النجوم من هذه الأطوال الموجيّة المنفصلة، كما سنرى في الفصل الثالث إن شاء الله.



الشكل 16.2 يمكنك توليد طيف من ضوء الشمس (ضوء نجم). ضع مرآةً في حوضٍ من الماء بحيث تكون تحت الماء ومستندةً إلى جدار الحوض. اضبطْ وضعَ الحوض في ضوء الشمس الساطعة بحيث تقع أشعة الشمس على المرآة. حرِّك المرآة رويداً إلى أن ترى طيفاً على السقف أو على الجدار.

يقوم كاشف الطيف spectroscope بتفكيك ضوء النجوم إلى مكوِّناته من الأطوال الموجيَّة للمعاينة. يدخل الضوءُ كاشفَ الطيف من خلال شقٍّ ضيِّق نحو عدسة تسديد collimating lens تولِّد حزمةً من أشعة ضوءٍ متوازية. يتبدَّد هذا الضوء بفعل موشور prism أو شبكة (محزوز) grating إلى ألوانه (أطواله الموجيّة)، وهذا هو الطيف الذي يسجِّله راسم الطيف.

ما الغرض من راسم الطيف؟ ....

....

الجواب: فَصْلُ كلِّ طولٍ موجيٍّ في حزمة ضوء وتسجيلُه.

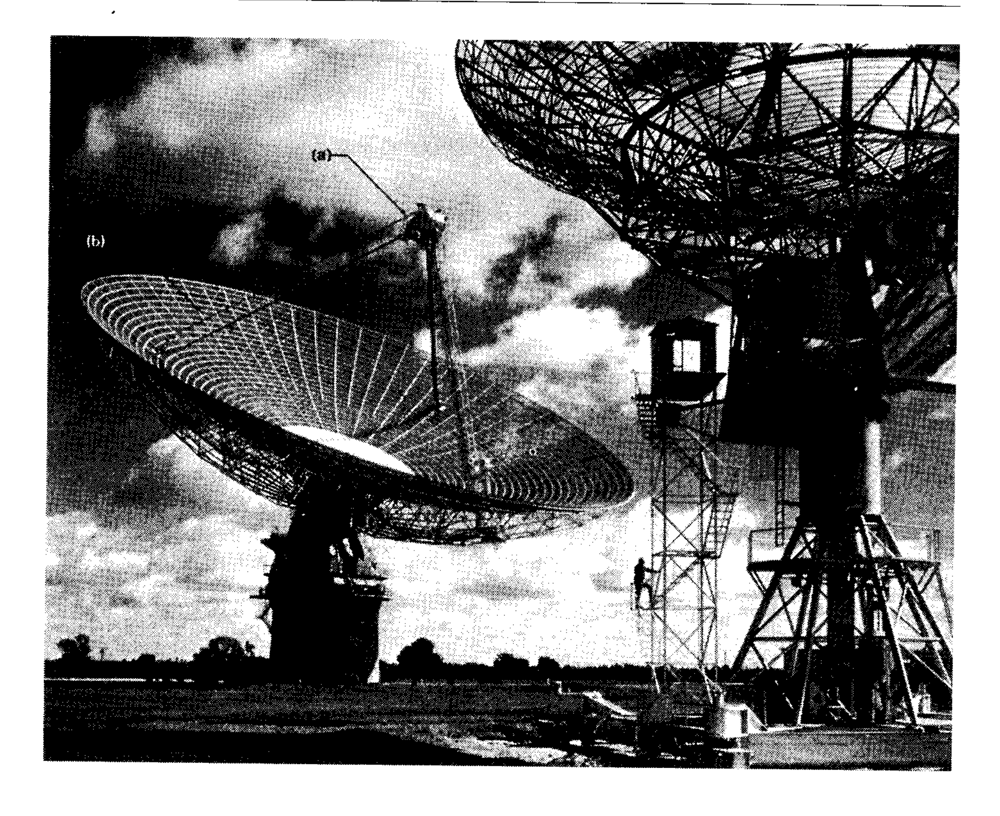
25.2 علم الفلك الراديوي

تتيح أنواعُ المقاريب الحديثة للفلكيين اليوم «النظر» لمسافاتٍ أبعد في أعماق الفضاء و«رؤية» مشاهد كونيةٍ أخّاذة أكثر من أيّ وقت مضى.

تَستعمل معظم المقاريب الراديوية radio telescopes هوائياً antenna مقعَّراً على شكل طبق، هو بمنْزلة المرآة الرئيسية في مقرابٍ بصري عاكس، وظيفته تجميع الأمواج الراديوية من الفضاء وتركيزها في بؤرة. ويجب أن يكون الهوائي كبيراً جداً ليتسنى له تجميع الأمواج الراديوية الطويلة، وتوليد صُوَرٍ واضحة (الشكل 17.2).

وليس بمقدورك رؤية هذه الأمواج الراديوية أو سماعها أو تصويرها مباشرةً، بل يعاد توجيهها إلى مستقبِلٍ راديوي radio receiver مولِّف يقوم بتضخيم صورتها الإلكترونية، وكشفها وتسجيلها. وقد يتمكن الكمبيوتر من إظهار صُوَرٍ راديويةٍ رقمية على شكل خريطة كفافية contour map تبيِّن شدة المنبع الراديوي (الشكل 19.6 ب)، أو على شكل صورةٍ شعاعية radiograph (الشكلان 18.6 و 19.6 أ)، وهي صورةٌ بالألوان الزائفة تُظهِر كيف يمكن أن «يبدو» المنبعُ الراديوي في الفضاء لمراقبٍ ذي «رؤيةٍ راديوية».

استُهِلَّ علم الفلك الراديوي سنة 1931 عندما اكتشفَ المهندسُ الأمريكي كارل جانسكي (1905 ـ 1950) Karl G. Jansky الأمواجَ الراديوية الآتية من مجرَّة درب التبانة. ومنذئذ تُستقبَل هذه الأمواجُ من منابعَ شتى تضمُّ شمسَنا، والكواكب، والغاز البينجمي البارد، والنجوم النبّاضة pulsar، والمجرّات النائية، والكوازرات quasars (أشباه النجوم).



الشكل 2.17 مقرابٌ راديويّ.

نذكر أن أكبر الهوائيات الراديوية في العالم طَبَقٌ ثابت بقطر 300 متر (1000 قدم) أُنشئ بوادٍ بين تلال منطقة آريسيبو Arecibo (پورتوريكو)؛ في حين أن أكبر مقرابٍ راديوي قابلٍ للتوجيه الكامل هو الهوائي الذي يبلغ قطره 100 متر (330 قدماً) ويقع في منطقة إفيلزبيرغ Effelsberg بألمانيا.

هذا ويُنتظَر أن يكون مقرابُ غرين بانك Green Bank Telescope (GBT)، وهو قيد الإنشاء في المرصد الوطني للفلك الراديوي (NRAO) بولاية ڤرجينيا الغربية، أعظمَ المقاريب الراديوية قدرةً وفاعليةً ودقةً وحساسيةً على الإطلاق. ومن سماته الفريدة أن طَبَقَه ـ الذي يبلغ قطره 100 متر (330 قدماً) ـ قد طوِّعَ خصِّيصَى لتوجيه الأمواج الراديوية جانباً، إلى حيث يلتقط جهازُ استقبالِ الإشاراتِ دون أن يحجب الطبق.

حدِّدِ الهوائيَّ والبؤرةَ الأولى للمقراب الراديوي المبيَّن في الشكل 17.2: (أ) ....؛ (ب) ....

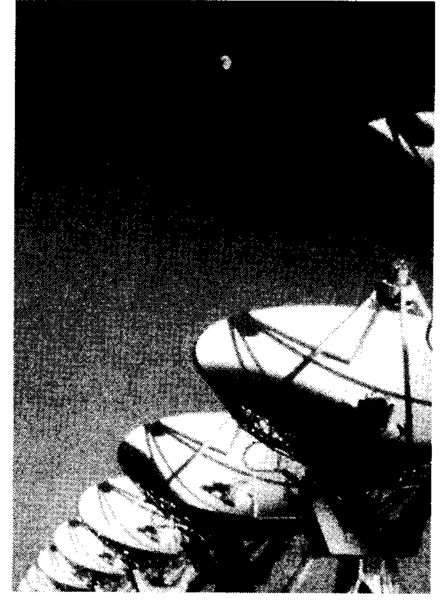
الجواب: (أ) البؤرة الأولى؛ (ب) الهوائي.

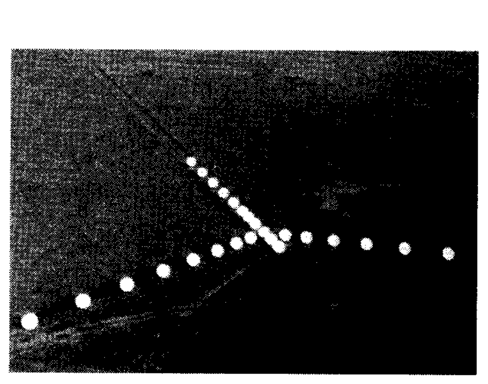
26.2 المقاريب الراديوية

تتمتع المقاريب الراديوية بمزايا عديدة؛ فهي تتيح لنا «رؤيةَ» أجرامٍ سماوية كثيرة تُطْلِق أمواجاً راديويةً قويّة ولا تطلق إلا القليل من الضوء المرئي، وكذلك «رؤيةَ» منابعَ راديويةٍ تقع خلف سُحُبٍ غباريةٍ بينجميةٍ في مجرَّتنا درب التبانة، من شأنها أن تطمس النجومَ المرئية (بسبب نفاد الأمواج الراديوية في هذه السُّحُب). ولما كان غلافنا الجوّي لا يعترض الأمواج الراديوية ولا يبعثرها، فيمكن استعمال المقاريب الراديوية في الأحوال الجوّية الغائمة وفي أثناء ساعات النهار.

وكما هو الحال في المقاريب البصرية، يمكن تحصيل معطياتٍ راديويةٍ أوسع وأدقّ بوساطة مجمِّعاتٍ collectors أكبر من كل ما سبق. وعن طريق ما يسمى بعملية توحيد الفتحة aperture synthesis تُدمَج أرصادُ مقرابَيْن راديويَّيْن، أو مقياسَيْ تداخل interferometers (أو أكثر)، يجري ربطها إلكترونياً بأجهزة كمبيوتر بغيةَ الحصول على مقدرةِ مَيْزِ طَبَقٍ مُجَمِّعٍ واحدٍ عملاق.

والصفيفة الضخمة جداً Very Large Array (VLA) هي المنشأة الأساسية في المرصد الوطني للفلك الراديوي لإجراء عملية توحيد الفتحة (الشكل 18.2)، وهي تقع في مكانٍ يرتفع 2100 متر (7000 قدم) في مدينة نيومكسيكو الأمريكية. تتكوَّن صفيفة VLA هذه من 27 طَبَقاً راديوياً متحركاً قطر كلٍّ منها 25 متراً (82 قدماً)، يمكن استعمالها بأشكالٍ مختلفة لتحاكي أداء طَبَقٍ راديويٍّ كامل التوجيه بقُطر 34 كيلومتراً (21 ميلاً). تتحكم أجهزةُ





الشكل 2.18 الصفيفة الضخمة جداً (VLA). (أ) تَنشر عدداً من الهوائيات يصل إلى 27 بأشكالٍ مختلفة في 72 محطة للرصد على امتداد نموذج على شكل حرف Y. يبلغ طول كل ذراع من Y زهاء 21 كم (13 ميلاً). (ب) مقراب VLA راديوي.

الكمبيوتر بالهوائيات، وتقوم بمعالجة المعطيات المرصودة وعرضها، ثم بإخراج صُوَرٍ شعاعية ذات مَيْزٍ معادلٍ لميز الصُّور الفوتوغرافية الملتقطة بمقراب بصريٍّ عاكسٍ عملاق.

يوفِّر قياسُ التداخل بخطٍّ قاعديٍّ طويلٍ جداً Very Long Baseline Interferometry (VLBI) أعلى درجات الميز؛ إذ تسجَّل المعطياتُ على شريطٍ مغنطيسي من أرصادٍ محكمة التنسيق يجري على منبعٍ راديويٍّ معيَّن، باستعمال هوائيَّيْن أو أكثر متباعدَيْن مسافةَ قاراتٍ أحدهما عن الآخر. وقد تُربَط المعطيات بالكمبيوتر لمحاكاة طَبَقٍ واحدٍ بكِبَرِ الأرض.

وتمتلك شبكةُ أعماق الفضاء Deep Space Network (DSN)، التابعة لوكالة أبحاث الفضاء الأمريكية (ناسا) NASA، مقاريبَ راديويةً في ثلاث قارّات؛ فتستعمل محطّاتها في الولايات المتحدة (كاليفورنيا) وإسبانيا

وأستراليا لأغراض الرصد بطريقة VLBI، إضافةً إلى استعمالها في الرحلات الفضائية. وغنيٌّ عن القول إن هذه المحطات مزوَّدة بمعدّات استقبال وإرسال ومعالجة معطيات واتصال في ما بينها، علماً بأن مركز التحكم يقع في مختبر ناسا للدفع النفاث NASA Jet Propulsion Laboratory في پاسادينا بكاليفورنيا.

تقوم صفيفةُ الخط القاعدي الطويل جداً Very Long Baseline Array (VLBA) برسم خرائط لأبعد المنابع الراديوية وأدقّ تفاصيلها. وتتألف هذه الصفيفة من عشرة مقاريب راديوية مؤتمتة بقطر 25 متراً (82 قدماً)، موزَّعةٍ في أنحاء الولايات المتحدة من هاواي إلى سانت كْروا St. Croix من جُزُر ڤيرجين آيلاندز. تعمل الهوائيات آلياً بتحكُّمٍ من مركز العمليات في نيومكسيكو. وبمعالجة الكومبيوتر للمعطيات التي سجَّلَتْها الهوائيات العشرة جميعاً يمكن اصطناع مقرابٍ راديويٍّ وحيد بقطر 8000 كيلومتر (5000 ميل).

ترتفع مقدرة الميز إلى حدِّها الأعظمي باستعمال صفيفة VLBA مع مقاريب راديوية تدور حول الأرض.

اذكر ثلاث مزايا على الأقل لمقرابٍ راديويّ(1) ....؛ (2) ....؛ (3) ....؛ (4) ....

الجواب:

(1) يُظهِر المنابعَ الراديوية - وهي أجرام تضيء في حزمة الأطوال الموجيّة الراديوية.

(2) يَعْرض المنابعَ الراديويةَ الواقعة خلف سُحُب الغبار البينجمي في الأجزاء الخفيَّة على الرصد البصري من مجرة درب التبانة.

(3) يعملُ في الجوّ الغائم، وكذلك في النهار.

(4) يُظهِر المنابعَ الراديوية الواقعة وراء قدرة مشاهدتنا البصرية.

27.2 علم الفلك تحت الأحمر

المقاريب تحت الحمراء infrared telescopes هي في المقام الأول عاكساتٌ بصرية مزوَّدة بكاشفٍ حراريٍّ خاص عند البؤرة الأولى. تُستَر الكاشفات وتُبَرَّد إلى نحو 2 كلفن للتثبُّت من أنها تسجِّل - أولاً وبالذات - الأشعةَ تحت الحمراء الواردة من الفضاء، وليس الحرارةَ التائهة الصادرة عن الإنسان والمعدّات وجدران المراصد.

ولبخار الماء وثنائي أكسيد الكربون في الهواء خاصّية امتصاصٍ قوية للأشعة تحت الحمراء الواردة. وكان عالم الفلك الأمريكي فرانك لو Frank Low أول مَنْ أنشأ كاشفاً تحت أحمر حسّاساً للاستعمالات الفلكية عام 1963. واليوم تُتَّخذ قممُ الجبال العالية أمكنةً لتمركز المقاريب تحت الحمراء الكبيرة، حيث الهواء متخلخل وجافّ. وتعدّ قمةُ ماونا كيا Mauna Kea في هاواي، وارتفاعها 4200 متر (13،800 قدم) أفضلَ المواقع على الإطلاق. أما المقاريب التي هي أصغر حجماً فيتحقَّق ارتفاعها بحملها بالطائرات والمناطيد والصواريخ ومركبات الفضاء.

ومن المنتظَر اليوم أن تحمل الطائرةُ النفاثة المسمّاة بالمرصد الجوّي الطبقي لعلم الفلك تحت الأحمر Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (SOFIA) مقراباً عاكساً بفتحة 2,5 م على ارتفاع 12 كم (40،000 قدم)، وكذلك أن يُطلَق مقرابٌ بفتحة 85 سم في مدار بوساطة منظومة المقاريب تحت الحمراء الفضائية Space Infrared Telescope Facility (SIRTF).

تصوِّر المقاريبُ تحت الحمراء المنابعَ الضوئية الباردة نسبياً، التي يغلب ألا تكون مرئية: من قبيل النجومِ الباردة، والغبارِ الذي يخالط الغازَ البارد ومناطقَ التكوُّن النجمي، والأقراصِ حول - النجمية circumstellar disks (الشكل 2.12) التي يحتمل فيها وجود كواكب خارج نطاق المجموعة الشمسية extrasolar planets، والمذنَّبات comets. تخترق الأشعةُ تحت

الحمراء الغبارَ البينجمي بسرعةٍ أكبر مما تفعل الأشعةُ المرئية التي هي أقصر، فتكشف عن طبيعة أجزاء مختلفة من مجرَّتنا. هذه الأشعة لا يطمسها ضوءُ الشمس، ومن هنا إمكانية عمل المقاريب تحت الحمراء ليلاً ونهاراً.

ما الميزة الرئيسية للمقاريب تحت الحمراء؟

....

الجواب: إظهارها للأجرام الباردة نسبياً التي قد لا تكون مرئية.

2.28 علم الفلك فوق البنفسجي والسيني والغامي

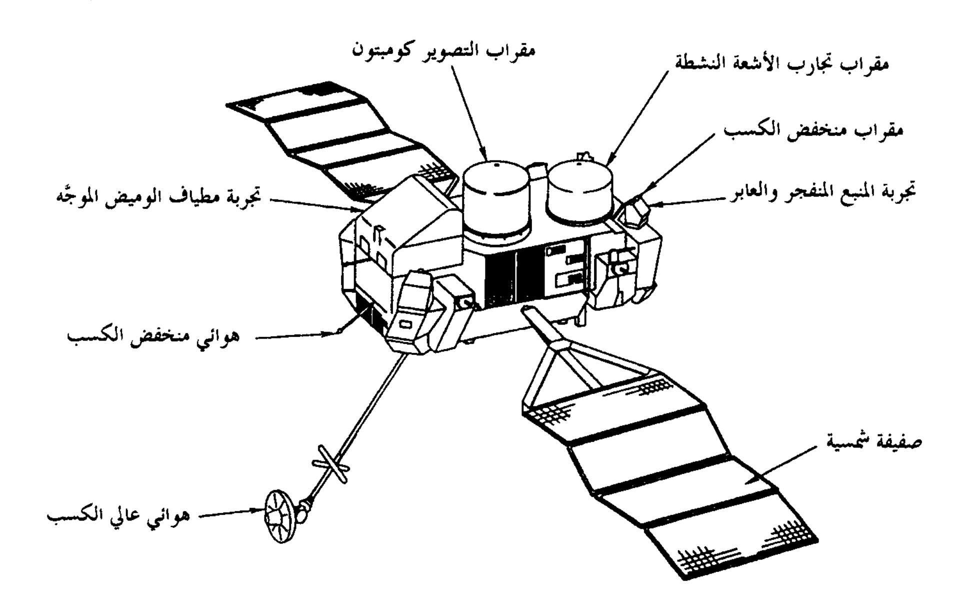
الفيزياء الفلكية العالية الطاقة high-energy astrophysics ميدان اختصاصٍ ديناميٌّ ناشئ، جُلُّ اكتشافاته حديثٌ لا يرقى إلى أبعد من ستينيات القرن العشرين. تُطْلَق مقاريبُ الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet والسينية X-ray ومقاريبُ أشعة غاما gamma-ray، مع كاشفاتٍ ملائمة، إلى ما فوق طبقة الهواء الحاجب للأرض، ضمن مركباتٍ طوّافة في مدارات.

توفِّر الصفائفُ الشمسيةُ الكهرباءَ لتغذية الأجهزة وأدوات التحكم بالتوجيه. وتعمل المواد العازلة على حماية الأجهزة من الحرارة والبرودة المفرطتَيْن، ومن انخفاض الضغط، والجسيمات النشطة والإشعاع الفاعل في الفضاء. كذلك تعمل المقتفيات الفلكية[1] star tracker والجيروسكوبات على توجيه المراصد الفضائية وتحدِّد مواقعها بقرينة أجرامٍ سماويةٍ معروفة.

تجمع المقاريبُ العالية الطاقة الإشعاعَ القادم وتركّزه في بؤرة، في حين تسجِّل الكاشفات شدَّته وطاقته وأَمَده واتجاه مَنْشَئه. وتَستقبِل الهوائياتُ

(1) المقتفي الفلكي: جهاز يُستعمل مع خمسة أجهزة أخرى لرصد نجوم معيَّنة واقتفاء حركتها ليلاً ونهاراً، وبذلك تعطي بياناً مستمراً عن الاتجاه الزاويّ الأفقي وعن الموقع. يسمى أيضاً: astrotracker. (المعرِّب)

الراديوية الأوامر من المراقبة الأرضية وتبثّ المعطيات إلى الأرض.



الشكل 19.2 لمرصد كومبتون العامل بأشعة غاما أربعة أجهزةٍ لقياس الأشعة بأعلى درجات المَيْز الزاويّ والحساسية.

تعالَج المعطيات وتسجَّل بواسطة الكومبيوتر بغية تحليلها، ثم تُعرَض رقمياً أو برسوم بيانيةٍ للشدّة بالنسبة إلى الزمن، أو كمجالٍ طاقيّ يبيِّن آليةَ توليد المنبع للأشعة السينية، ودرجةَ سطوعه، والزمن الذي يحافظ فيه على سطوعه، ونوعه من بين الأجرام. وبالإمكان معالجة المعطيات بحيث تولِّد أخيلةً بألوانٍ زائفة false color images، تُستعمل فيها الألوانُ لإظهار معالم أجرامٍ غير مرئية.

وما أكثر المشاهد فوق البنفسجية التي تُرصَد على الشمس والنجوم الحارّة والغُلُف الجوّية النجميّة والسُّحُب البينجمية، وكذلك على هالةٍ مجرّية

غازية حارّة، ومنابع تقع خارج المجرّة. من هذه الأرصاد ما تقوم به الربوت robot الأمريكي المسمّى بالكشاف الطيفي فوق البنفسجي البعيد Far Ultraviolet Spectroscopic Explorer (FUSE) منذ سنة 1999 حتى اليوم، من سبرٍ لأخفت المنابع الضوئية وأقصاها.

كذلك قام مرصد كومپتون العامل بأشعة غاما Compton Gamma Ray Observatory ما بين سنتي 1991 و 2000، ويقوم مرصد تشاندرا السّيني Chandra X-ray Observatory منذ سنة 1999، بتصوير الأجرام النشِطة والحوادث الكونية العنيفة (الشكل 19.2).

وثمة من المنابع السينيّة والغاميّة أعدادٌ كبيرةٌ جداً تَظْهر كدفقاتٍ متفجِّرة من الإشعاع، ونجومٍ نبّاضة، وثقوبٍ سوداء، ومجرّاتٍ نشطة، وكوازراتٍ نائية.

ما اللافت بنوعٍ خاص في الأرصاد الحديثة باستعمال المقاريب فوق البنفسجية والسينية والغامية؟ ....

....

....

الجواب: أن الأشعة فوق البنفسجية والسينية والغامية الواردة تحمل طاقةً أكبر بكثير من الضوء المرئي. ولا بد أنها تتولّد بفعل عملياتٍ غايةٍ في الفاعلية لم يدركها العلماء بعدُ إدراكاً كاملاً.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثاني وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. لماذا كان النظر إلى النجوم طريقةً لتصوُّر مظهر الكون قبل سنواتٍ كثيرة؟ ....

....

....

....

....

2. (أ) اذكر أهم مناطق الطيف الإلكتروني، من أقصر طولٍ موجيّ (الطاقة العليا) إلى أطول طولٍ موجيّ (الطاقة الدنيا) ....

....

....

....

(ب) ما الصفة التي تشترك بها كل الأمواج الكهرطيسية؟ ....

....

3. اكتب الصيغة العامة التي تربط بين الطول الموجيّ وتردُّد الموجة ....

....

4. بافتراض أنك ترصد نجماً لونه مائل إلى الزرقة، وآخر مائل إلى الحمرة. أيهما أشد حرارةً؟ وكيف تعرف ذلك؟ ....

....

....

5. عدّد النوافذ الثلاث (المجالات الطيفية) في الغلاف الجوي للأرض، الخاصة بالفلك الرصدي ....

6. ما الجزءان الرئيسيان من مقرابٍ يُستعمل لأغراض الرصد، وما وظيفة كلٍّ منهما؟ ....

....

7. ما المزيَّتان الرئيسيتان للمقاريب العملاقة المستعملة لأغراض البحث؟

....

لدينا مقرابان بالمواصفات التالية:

	نوع المقراب	
	عاكس (1)	**كاسر (2)**
قُطر العدسة الرئيسية أو المرآة الرئيسية	2 م	1 م
الطول البؤري للجسميّة	7,6 م	14,6 م
الطول البؤري للعينيّة	5 سم	1 سم

8. أيُّ المقرابين (1 أم 2) المذكورين في هذا الجدول

(أ) أكبر مقدرةً على تجميع الضوء؟

(ب) أجدى من حيث مقدرة الفصل (المَيْز)؟

(ج) أعلى من حيث درجة التكبير؟

9. اذكر أهم عاملَيْن لِحُسن الأداء المقرابي ....

....

10. ما الغرض من راسم الطيف؟ ....

....

11. اذكر ثلاثاً من مزايا المقراب الراديوي ....

....

....

12. ما الفائدة من إطلاق مقاريب في مركبات الفضاء؟ ....

....

....

....

13. انسب كل أداةٍ مما يأتي إلى ما يناسبها من الأرصاد.

(أ) أخفت المنابع الراديوية وأقصاها.	(1) مرصد تشاندرا السّيني.
(ب) النجوم والغازات الحارّة جداً.	(2) الكشاف الطَّيفي فوق البنفسجي البعيد.
(ج) المنابع المرئية الباردة نسبياً.	(3) مقراب كيك.
(د) المنابع السينية.	(4) صفيفة بخطٍّ قاعديٍّ طويلٍ جداً.

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة الآتية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. ينتشر ضوء النجوم بفعل شحناتٍ كهربائية موجودة في النجوم ذاتها. تَنْقل أمواجُ الضوءِ الطاقةَ من النجوم إلى الشحنات الكهربائية الموجودة في عيوننا. ومن المعلوم أن الأمواج تنتقل بسرعة فائقة ـ زهاء 300،000 كم (186،000 ميل) في الثانية. ومع ذلك فإن تريليونات الأميال التي تفصل النجومَ عن الأرض من شأنها أن تجعل رحلة الضوء تستغرق سنواتٍ كثيرة. وهكذا فإننا نرى النجوم على هيئتها التي كانت عليها قبل سنين كثيرة خلت، أي عندما بدأ ضوءُ النجوم رحلتَه إلى الأرض. (الفقرتان 1.2 و 5.2).

2. (أ) أشعة غاما، والأشعة السينية، والإشعاع فوق البنفسجي، والضوء المرئي، والإشعاع تحت الأحمر، والأمواج الراديوية.

(ب) هي أن كل الأمواج الكهرطيسية تنتقل عبر الخواء بسرعةٍ واحدة هي سرعة الضوء ـ نحو 300،000 كم/ ثا (186،000 ميل/ ثا).

(الفقرات: 3.2 و5.2 و8.2)

3. $c = F\lambda$ أو الطول الموجيّ = سرعة الموجة ÷ التردُّد

(الفقرات: 2.2 و5.2 و6.2 و8.2 و9.2)

4. النجم ذو اللون المائل إلى الزرقة أشدُّ حرارة. نعلم من قانون فين في الإشعاع أنه كلما قَصُرَ الطولُ الموجيُّ الذي يُطلِق النجمُ عنده أعلى درجات ضوئه، كان النجمُ أشدَّ حرارة. إن الطول الموجيّ للضوء

الأزرق أقصر من الطول الموجيّ للضوء الأحمر.

(الفقرتان: 2.2و 10.2)

5. البصرية (الضوء المرئي)، والراديوية، وتحت الحمراء.

(الفقرة: 11.2)

6. (1) المرآة أو العدسة الرئيسية (الجسميّة): لتجميع الضوء وتأليف الصورة.

(2) العدسة العينيّة: لتكبير الصورة التي ألَّفَتْها المرآةُ أو العدسةُ الرئيسية.

(الفقرات: 12.2 و14.2 و15.2)

7. مقدرة أعلى لتجميع الضوء، ومقدرة مَيْزٍ أكبر.

(الفقرات: 12.2 و19.2 و23.2)

8. (أ) 1؛ (ب) 1 ؛ (ج) 2.

(الفقرات: 12.2 و19.2 و20.2)

9. قياس المرآة أو العدسة الرئيسية ونوعيّتها. (علماً بأن الحاضن الثابت عاملٌ مهمٌّ كذلك).

(الفقرة: 12.2 والفقرات: 17.2 إلى 23.2 ضمناً)

10. فصل وتسجيل الأطوال الموجيّة في حزمةٍ ضوئية، كلاًّ على حدة.

(الفقرة: 24.2)

11. يَكشف المنابعَ الراديوية؛ ويُظهِر المنابع الراديوية المتوارية عن النظر خلف سُحُب الغبار البينجمي في مجرّة درب التبانة؛ ويمكن أن يعمل نهاراً وفي الأحوال الجويّة الغائمة؛ وكذلك يُظهِر المنابعَ الراديويةَ الواقعةَ وراء قدرة إبصارنا.

(الفقرتان: 2.25 و 2.26)

12. المرْكبات الفضائية تنقل المقاريبَ إلى ما وراء الغلاف الجوّي للأرض (الذي هو عامل حجب)، فيغدو ممكناً رصدُ أشعةِ غاما والأشعةِ السينية والمنابعِ فوق البنفسجية التي يتعذَّر رصدها من الأرض. وبسببٍ من غياب هذه الضبابية الجوّية أو التداخل الراديوي، يعمل المقراب الفضائي عند الحدود العملية لمقدرة المَيْز فيه.

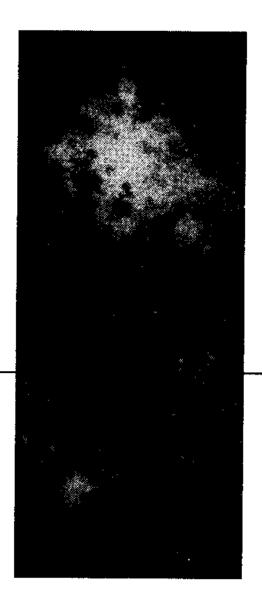
(الفقرات: 2.11 و2.21 و2.26 و2.27 و2.28)

13. (أ) 4 ؛ (ب) 2 ؛ (ج) 3 ؛ (د) 1.

(الفقرات: 2.23 و2.26 و2.28)

3

النجـوم



انظر إلى النجوم! ارجع البصر في السماء! وتأمل كل تلك الكائنات النارية المنتشرة فيها!

جيرارد مانلي هوبكنز (1844 ـ 1899)
«The Starlight Night»

الأهداف:

- وصف طريقة اختلاف المنظر ومجالها، بوصفها تقنيةً لتحديد المسافات إلى النجوم.
- وصف الأنواع الثلاثة الأساسية من الأطياف وهي: طيف الإصدار، وطيف الامتصاص، والطيف المستمر.
- تفسير كون طيفَي الإصدار والامتصاص متفرِّدَيْن لكل عنصر.
- وصف الأطياف النجمية وصفاً عاماً، وتفسير كيفية تقسيمها إلى أصنافٍ طيفية.
- تفسير طريقة تحديد التركيب الكيميائي لنجم، ودرجة حرارته السطحية، وسرعته الشعاعية عن طريق طيفه.

- استنباط معلومات أخرى من الأطياف النجمية.
- بيان طريقة تحديد الحركة الحقيقية لنجم وسرعته في الفضاء.
- بيان الفرق بين السطوع الظاهري والضيائية.
- إبراز العلاقة بين القدْر الظاهري، والقدْر المطلق، والمسافة.
- وصف مخطط H-R وتفسير علاقة كتلة نجمٍ ما بضيائيَّته ودرجة حرارته.
- مقارنة النجوم العمالقة الحُمْر والأقزام البِيض بالشمس من حيث الكتلةُ والقُطر والكثافة.
- التعريف بأربعة أنماطٍ من المنظومات النجمية الثنائية.

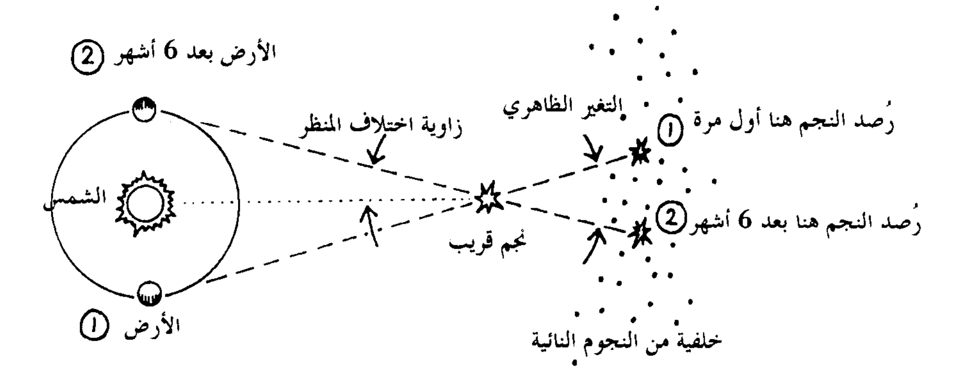
1.3 المسافات إلى النجوم القريبة

تقع النجوم، تلك الأجرام النارية الهائلة، على بُعد تريليونات الكيلومترات خارج نطاق غلافنا الجوي. إلا أن الجزم بالمسافات الحقيقية إلى النجوم كانت ـ ولقرونٍ خَلَتْ ـ مثار حيرة علماء الفلك وتردُّدهم.

تُستعمَل طريقةُ اختلاف المنظر parallax لقياس المسافات إلى النجوم القريبة، وذلك بتحديد موقعِ نجمٍ بدقة بالنسبة إلى نجوم أخرى، ثم تحديد موقعه مرةً أخرى بعد انقضاء ستة أشهر، عندما يكونُ دورانُ الأرض قد تسبَّب في نقل مواقع المقاريب نصفَ المسافة حول الشمس.

تبدو النجومُ القريبة مُنْزاحةً قرباً وبعداً بالنسبة إلى نجومٍ أكثر بُعداً، في الوقت الذي تطوف فيه الأرضُ حول الشمس. يُسمّى التغيُّرُ الظاهريُّ الذي يلاحَظ في موقعِ نجمٍ عند رصده من الأطراف المقابلة لمدار الأرض اختلافَ المنظر النجميّ stellar parallax. ويُحسَب بُعد النجم من زاوية اختلاف منظره parallax angle، وهي تساوي نصف التغيُّر الظاهري في الموقع الزاويّ للنجم (الشكل 1.3).

وتحسن الإشارة إلى أن اختلاف المنظر النجميّ صغيرٌ جداً، ويُقاس



الشكل 1.3 اختلاف المنظر النجمي. إن نجماً قريباً من الأرض يُرى من الأطراف المقابلة لمدارها يبدو وقد انزاح موقعه من 1 إلى 2 على خلفية النجوم النائية. (زاوية اختلاف المنظر الحقيقية غايةٌ في الصِّغر).

بالثواني القوسية (") second of arc، حيث $1'' = 1/3600°$. ولتمثيل ذلك تَصوَّرْ أن قرصاً من الأسبرين قد يبدو قطره مساوياً 1" بالنظر إليه من مسافة نحو 2 كم (ميل واحد)! علماً بأن اختلاف المنظر لأقرب النجوم هو أقل من 1" (الملحق 5).

نسمّي فرسخاً فلكياً parsec (pc)[1] المسافةَ إلى نجم افتراضي يبلغ اختلافُ منظره ثانيةً قوسيةً واحدة ("1). وقد وُجد أن فرسخاً فلكياً واحداً يعادل قرابة 31 تريليون كيلومتر (19 تريليون ميل)، أو 3,26 سنة ضوئية.

ولحساب بُعد أي نجمٍ عُلِمَ اختلاف منظره تُستعمل الصيغة التالية:

$$\text{بُعد النجم (بالفرسخ الفلكي)} = \frac{1}{\text{اختلاف المنظر (بالثواني القوسية)}}$$

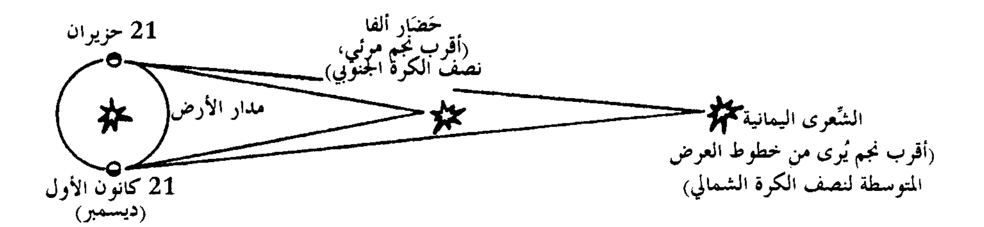
(1) كلمة parsec منحوتة من par = parallax (اختلاف المنظر) وsec = second of arc (ثانية قوسية). (المعرِّب)

ومن المهم أن تعلم أن اختلاف المنظر النجمي يتناقص مع بُعد النجم، وأنه قابلٌ للقياس حتى نحو $0'',01$ أي ما يقابل مسافة 100 فرسخ فلكي. على أن اختلاف المنظر الذي أمكن قياسه بدقة حتى الآن لا يستغرق سوى جزءٍ صغير من النجوم التي تقع ضمن هذا البُعد (وعددها 500،000 نجم).

والنموذجُ الأوروبي من ساتل حساب اختلاف المنظر العالي الدقة High Precision Parallax Collecting Satellite (أو Hipparcos اختصاراً)، هو مركبةٌ فضائية تبحث في علم القياسات الفلكية astrometry، استُعملت بين سنتي 1989 و 1993 لدراسة 100،000 نجم من حيث قياس مواقعها وحركاتها واختلافات مناظرها بدقة تامة، ولدراسة 400،000 نجم آخر بدقة أقل. وجاءت تسمية هذا الساتل تخليداً لذكرى [الفلكي الإغريقي] هيپارخوس Hipparchus (الفقرة 7.1)، الذي تمكّن - منذ زمنٍ يرقى إلى سنة 120 قبل الميلاد - من حساب بُعد القمر عن الأرض عن طريق قياس اختلاف منظر القمر. وثمّة دليلٌ يصنَّف اليوم يسمى دليل هيپاركوس النجمي Hipparcos Star Catalog، يضم معطيات نجميةً وافرةً تضاف إليه وتغنيه حال معالجتها.

ولا بد من توظيف طرائق أخرى غير مباشرة لتحديد المسافات إلى جُلِّ النجوم التي تبعد أكثر من 100 فرسخٍ فلكي.

هل تحب أن تعرف ما يُقصد من أن نجماً ما هو نجمٌ «قريب»؟ استعن بالشكل 2.3 . إذا كان اختلافُ المنظر المعروف لنجم α حَضَار (Alpha Centauri) هو $0'',75$، فإن بُعده عن الأرض يقارب 1,3 فرسخ فلكي أو 4,3 سنة ضوئية، أي ما يعادل نحواً من 40 تريليون كيلومتر (25 تريليون ميل). (نجم α حَضَار في واقع الأمر نجمٌ ثنائي، وهو فردٌ من منظومةٍ نجمية ثلاثية إذا ألحقنا به نجم قنطورس القريب Proxima Centauri أقرب نجمٍ ليليٍّ خافت إلينا).



الشكل 2.3 استعمال طريقة اختلاف المنظر لتحديد المسافات إلى أقرب النجوم السواطع إلينا.

إذا كان اختلاف المنظر المعلوم لنجم الشِّعرى اليمانية هو 38, "0، فكم يكون بُعده عن الأرض (أ) بالفراسخ الفلكية؟ ....؛ (ب) بالسنين الضوئية؟ ....؛ (ج) بالكيلومترات أو الأميال (على وجه التقريب)؟ ....

الجواب: (أ) pc 2,6؛ (ب) ly 5,8؛ (ج) 81 تريليون كيلومتر أو 50 تريليون ميل.

طريقة الحل:

(أ) $1/0'', 38$

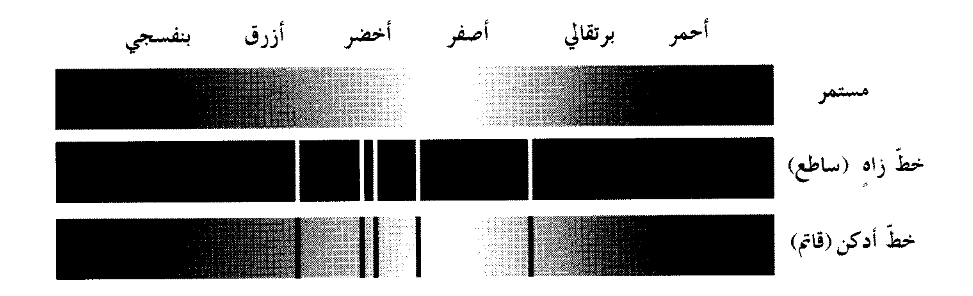
(ب) $(2.6\text{pc}) \times 3.26 \frac{\text{ly}}{\text{pc}}$

(ج) $(2.6\text{pc}) \times 31\text{trillion} \frac{\text{km}}{\text{pc}}$

$(2.6\text{pc}) \times 19 \text{ trillion} \frac{\text{mile}}{\text{pc}}$

2.3 أنواع الأطياف

إننا نعرف الكثير عن النجوم، برغم المسافات الشاسعة التي تفصلنا عنها؛ فمن ضوئها يتمكن علماء الفلك من استنباط قدرٍ مذهل من المعلومات.



الشكل 3.3 أنواع الطيف الثلاثة الأساسية كما تُرى باستعمال كاشف الطيف.

ولعلك تذكر أن ضوء النجوم يتألف من أطوالٍ موجية كثيرة ومختلفة. ولدى تفكيك ضوء النجوم إلى أطواله الموجيّة، فإن الطيفَ الناجم يحمل دلالاتٍ ومفاتيحَ ذات قيمةٍ عن النجوم نفسها. وعلم الأطياف spectroscopy هو مبحث تحليل الأطياف spectra (جمع طيف spectrum)، وهي على ثلاثة أنواع أساسية يتولّد كلٌّ منها في ظروفٍ فيزيائية مختلفة.

صِفْ مظهرَ كلِّ نوعٍ من الأطياف التي يمثّلها الشكل 3.3.

(أ) ....

(ب) ....

(جـ) ....

الجواب:

(أ) الطيف المستمر continuous spectrum: صفيفة مستمرة مؤلفة من جميع ألوان قوس قزح.

(ب) طيف الإصدار emission spectrum، أو طيف الخطوط الساطعة bright-line spectrum: نموذج من خطوطٍ زاهية الألوان مختلفة الأطوال الموجية.

(ج) طيف الامتصاص absorption spectrum، أو طيف الخطوط القاتمة dark-line spectrum: نموذج من خطوطٍ دكناء على طيف مستمر.

ملاحظة: يتعامل علماء الفلك اليوم مع الأطياف كرسومٍ بيانية تمثِّل الشدة مقابل طول الموجة (الشكل 22.6 ب).

3.3 الخطوط الطيفية

تُعدُّ الذرات مسؤولة عن أنواع الطيف كافة. والذرّة atom هي أصغر جسيمات العنصر الكيميائي.

ويُعرَف اليوم أكثر من 100 عنصر كيميائي (الملحق 4)، لكل عنصر منها نوع الذّرة الخاص به. وكان أولَ مَن وَصَفَ هذا النموذجَ الفيزيائيُّ الدنماركي نيلس بور Niels Bohr (1885 ـ 1962).

وبحسب نموذج بور الذرّي Bohr atom model، تحتوي ذراتُ كل عنصرٍ على نواة nucleus ذات عددٍ فريدٍ من الپروتونات protons الموجبة الشحنة، يدور حولها عددٌ مساوٍ من الإلكترونات electrons السالبة الشحنة. وتكون الذّراتُ في العادة متعادلةً كهربائياً.

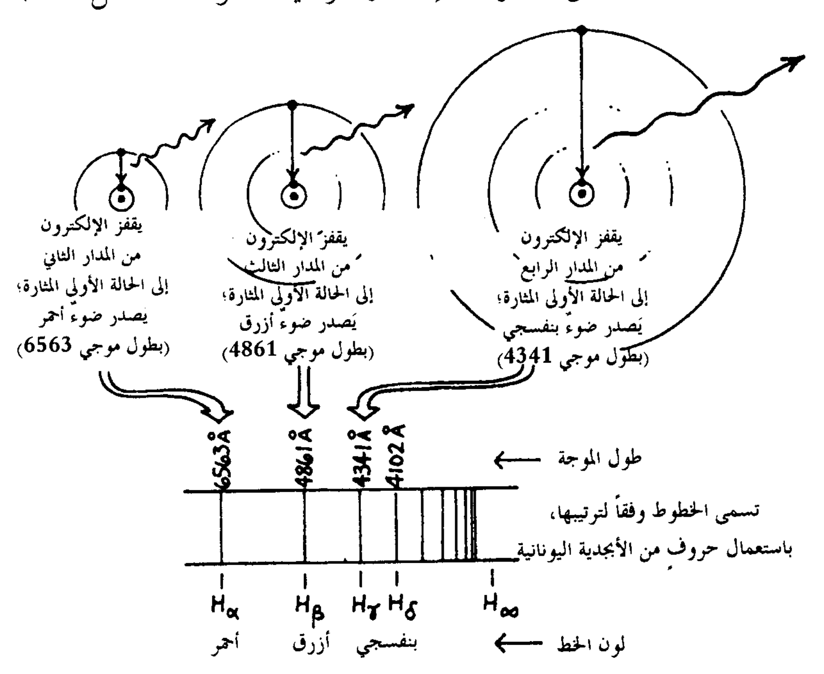
يقتصر وجود الإلكترونات في مجموعةٍ من المدارات المحدَّدة نصف القطر لا تتجاوزها الإلكترونات. ويحمل أيُّ إلكترونٍ في مدارٍ معيَّن طاقةَ ربطٍ binding energy محدَّدة، وهي الطاقة اللازمة لِنَزْعه من الذرّة. ولكلِّ عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة من المدارات الإلكترونية أو مستويات الطاقة energy levels.

تحمل الذرّةُ غير المُثارة، في حالتها المستقرّة (الحضيضية) ground state، أقلَّ كمية ممكنة من الطاقة. فإذا تزوَّدت بالطاقة الملائمة يقفز أحد الإلكترونات إلى مستوى طاقة أعلى، وتغدو الذرَّةُ في حالةٍ مُثارَة excited

غير مستقرّة. وعندما يسقط الإلكترون عائداً إلى مداره تُطلِق الذرَّةُ تلك state الطاقةَ على صورة كريَّةٍ من الضوء تسمّى الفوتون photon.

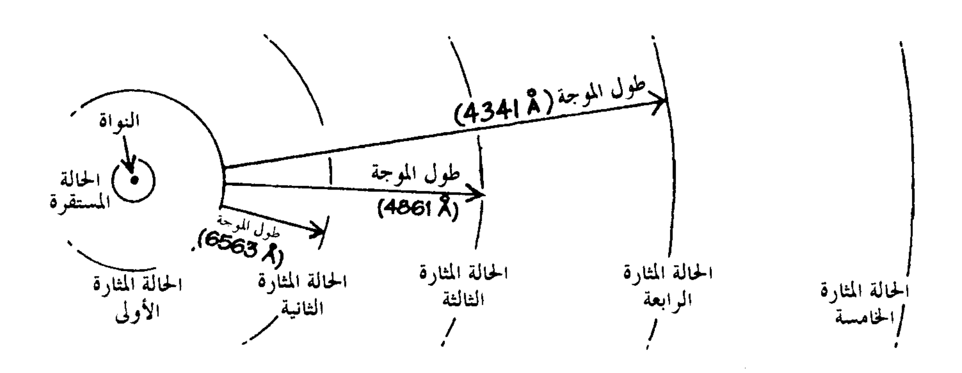
وإذا امتصَّت الذرّةُ طاقةً كافية، أمكنَ انتزاعُ واحد أو أكثر من إلكتروناتها انتزاعاً كاملاً، فتسمّى الذرّةُ - التي بقيت الآن بشحنةٍ كهربائية (موجبة) - عندئذ أيوناً ion.

تتولَّد خطوط إصدار زاهية الألوان emission lines عندما تقفز الإلكترونات من مستويات طاقةٍ عالية، عائدةً إلى مستويات طاقةٍ أدنى منها. ويتناسب الطولُ الموجيُّ للضوء الصادر عكساً مع فرق الطاقة بين مستويات الطاقة. ولما كان لكلِّ نوعٍ من الذرّات المتعادلة أو المتأيّنة مجموعته الخاصة الفريدة من مستويات الطاقة، اقتضى ذلك أن يكون لكلِّ عنصر كيميائيٍّ مجموعته الخاصة الفريدة أيضاً من خطوط الإصدار الزاهية الألوان (الشكل 4.3).



الشكل 4.3 منشأ المجموعة الفريدة من خطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

وتتولَّد بالمقابل خطوطُ امتصاصٍ قاتمة dark absorption lines فريدة عندما تَمتصُّ ذرّةٌ من عنصرٍ كيميائي ضوءاً، وتقفز الإلكترونات إلى مستويات طاقةٍ أعلى (الشكل 5,3).



الشكل 5.3 منشأ خطوط الامتصاص القاتمة المقابلة لخطوط الإصدار الحمراء الزاهية والزرقاء والبنفسجية لعنصر الهيدروجين.

وهكذا، فإن من شأن طيف الإصدار أو طيف الامتصاص المقابل، أن يحدِّد عملياً العنصرَ الكيميائي الذي يولِّده.

لماذا تُطْلِق الذراتُ ضوءاً مختلفَ الألوان (بأطوالٍ موجيةٍ معيَّنة)؟ ....

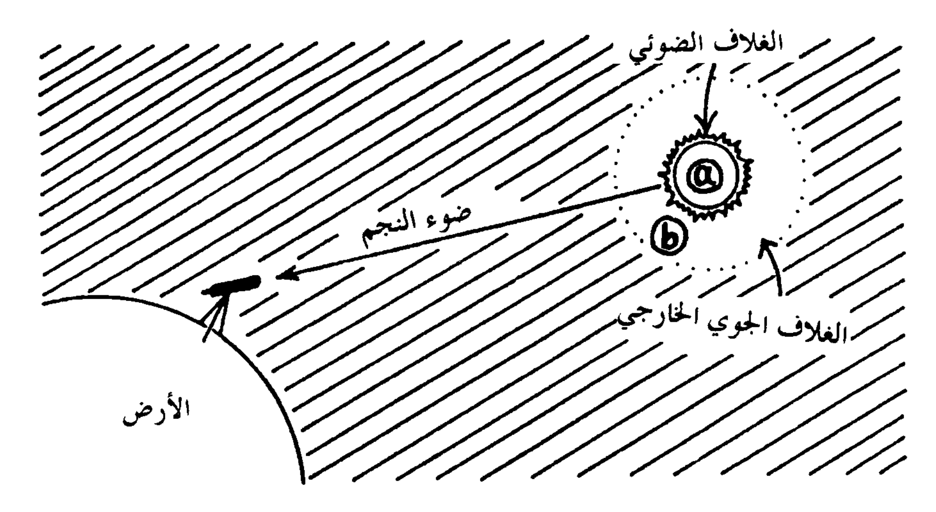
....

....

الجواب: لأن كلّ لونٍ (طولٍ موجيّ) يقابل إلكتروناً يقفز من مستوى طاقةٍ معيَّن عالٍ إلى مستوى طاقةٍ آخر أدنى منه.

4.3 أطياف النجوم

الأطياف النجمية stellar spectra بلا استثناء نماذج من خطوطٍ قاتمة



الشكل 6.3 ينطلق ضوءُ النجم الذي نرصده من الغلاف الضوئي للنجم، عابراً غلافَه الجويَّ الخارجي قبل انصبابه في الفضاء.

تتقاطع مع شريطٍ مستمر من الألوان (الشكل 8.3). وقد كان هنري دريپر Henry Draper (1837 ـ 1882) ـ وهو فلكيٌّ أمريكي هاوٍ ـ أوّلَ من تمكّن من تصوير طيفٍ لنجمٍ تصويراً فوتوغرافياً سنة 1872.

والنجوم كراتٌ غازية عظيمة مضطرمة، من ذرّاتها أنواعٌ كثيرة تُطلِق ضوءاً من كلّ الألوان. هذا الضوءُ المنطلقُ من السطح المرئي الساطع للنجم، الذي يُسمّى الغلاف الضوئي أو الكرة الضوئية photosphere، ينطمس آيلاً إلى طيفٍ مستمر من الألوان. وفي أثناء انتقال الضوء عبر الغلاف الجوّي الخارجي للنجم، يحصل امتصاصٌ لبعض الألوان (فوتونات ذات أطوالٍ موجية معيَّنة)، فتتولّد عن ذلك خطوطُ امتصاصٍ قاتمة، يستفاد منها في تحديد ماهية العناصر الكيميائية التي تؤلِّف الغلافَ الجويَّ للنجم.

بالاستعانة بالشكل 6.3 حدِّدْ على النجم المنطقة التي يمكن أن ينشأ فيها (أ) طيف مستمر و(ب) طيف امتصاص.

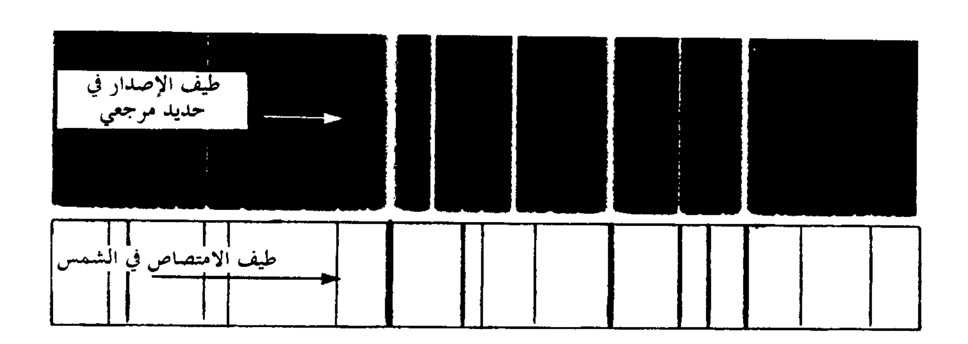
(أ) ....؛ (ب) ....

الجواب: (أ) مستمر؛ (ب) امتصاص.

5.3 التركيب الكيميائي

كانت الشمسُ أولَ النجوم التي جرى تحليلُ طيفِ امتصاصها، إذ تمكّن الفيزيائيُّ الباڤاري جوزيف ڤون فراونهوفر Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826) في سنة 1814 من تسجيل أقوى الخطوط القاتمة، التي تسمى اليوم خطوط فراونهوفر Fraunhofer lines.

ومنذئذٍ وعلماءُ الفلك ماضون في تسجيل وتصنيف آلاف الخطوط القاتمة في طيف الشمس. وبمقارنة هذه الخطوط بالخطوط الطيفية التي تولّدها عناصرُ كيميائيةٌ مختلفة على الأرض، اكتشفوا أكثر من 70 عنصراً كيميائياً في الشمس (الشكل 7.3).



الشكل 7.3 يتمكن علماء الفلك من تعرُّف عنصر الحديد في الشمس عن طريق مقابلة الخطوط القاتمة في طيف امتصاص الشمس بطيف الإصدار في حديدٍ مرجعيّ.

كيف يمكن تحديد التركيب الكيميائي للنجوم؟ افترضْ أن النجومَ وغُلُفَها الجوّية مؤلّفةٌ من مكوّناتٍ واحدة. ....

....

الجواب: بتحليل الخطوط القاتمة في طيف النجم، ومقارنتها بالخطوط التي يبديها كلُّ عنصرٍ كيميائي على الأرض.

6.3 الأصناف الطيفية

عندما تقارِن أطيافَ نجومٍ من قبيل نجم القطب Polaris أو النسر الواقع Vega بطيف الشمس (الشكل 8.3)، ترى أن بعضها يبدو غير متغيِّر، في حين تظهر أطيافٌ أخرى وقد طرأ عليها تغيُّر بيِّن. يستعان بأطياف الامتصاص في تصنيف النجوم إلى سبعة أنواعٍ رئيسية تسمى الأصناف الطيفية spectral classes.

وقد وُجد أن خطوط الهيدروجين تكون أشدَّ بكثير في أطياف بعض النجوم منها في طيف الشمس. وساد اعتقاد خاطئ في الماضي لدى علماء الفلك أن هذه النجوم تحتوي على نسبة هيدروجين أكبر مما تحويه النجوم الأخرى، فصنَّفوا النجومَ تبعاً لشدة خطوط الهيدروجين في أطيافها، وبترتيبٍ أبجديٍّ بدءاً من أشدِّها (الصنف A) وانتهاءً بأضعفها (الصنف Q).

أجرت الفلكيةُ الأمريكيةُ آني كانون Annie J. Cannon (1853 ـ 1941) دراسات مستفيضةً على الأطياف، وصَنّفتْ أطيافَ 225,300 نجم، وقامت بتعديل نظام التصنيف هذا إلى شكله الحالي، وهو [من الحار إلى البارد]: O B A F G K M. (ولمساعدة طلاب علم الفلك على تذكّر ذلك الترتيب الغريب، استنبط الفلكيون عباراتٍ طريفةً تُعِين أوائلُ كلماتِها على استحضاره؛ منها قولهم: «Oh Be A Fine Girl/Guy Kiss Me»)[1].

(1) أي كوني رقيقةً يا فتاتي وقبّليني/كن رقيقاً يا فتاي وقبّلني».
ومنها «Oh, Big And Furry Gorilla, Kill My Roommate». «أيها الغوريلا الضخم الذي يكسوه الفرو؛ تعال فاقتل مَنْ يساكنني الغرفة».
ومنها أيضاً: «Only Brilliant, Artistic Females Generate Killer Mnemonics»، «لا يصوغ عبارات الاستذكار سوى الإناث المتألّقات ممّن يقدِّرن الفنَّ وأهله.» (المعرِّب)



الشكل 8.3 الأصناف السبعة الرئيسية للأطياف النجمية، مرتَّبةً تنازلياً وفقاً لدرجة حرارتها. الأطوال الموجيّة للخطوط الطيفية مقيسةً بواحدات الأنغستروم (Å). (He: هليوم محايد؛ H: هيدروجين؛ Ca: كالسيوم؛ Fe: حديد؛ Tio: أكسيد التيتانيوم؛ +He: شاردة هليوم؛ +Ca: شاردة كالسيوم).

ونحن نعلم اليوم أن كلَّ النجوم المرئية هي ذات تركيب واحد تقريباً، فهي مؤلَّفةٌ في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. وقد دلَّلتْ عالمةُ الفلك الأمريكية سيسيليا پين غاپوشكين Cecilia Payne Gaposhkin (1979 - 1900) على أن الفروق في نماذج الخطوط القاتمة للنجوم مردّها أساساً التباينُ الكبير في درجات حرارتها السطحية surface temperatures.

إن تسلسل الأصناف الطيفية، الذي يعبَّر عنه بالحروف التقليدية كما أسلفنا، أمسى أيضاً تسلسلاً دالاً على درجة الحرارة. فنجوم O هي أشدّ النجوم حرارةً، ثم تتناقص درجة الحرارة باستمرار إلى أن تصل إلى نجوم M وهي أبردها. ثم إنّ كلَّ صنف طيفيٍّ ينتظم عشرة صفوفٍ فرعية subclasses

مرقمة من 0 إلى 9 بترتيبٍ تنازلي تبعاً لدرجات الحرارة أيضاً.

ما الخصيصة التي تحدِّد الصنفَ الطيفي لنجم؟ ....

الجواب: درجة حرارته السطحية.

7.3 درجة الحرارة

يبدو أن هناك تبايناً كبيراً بين طيف نجم حارٍّ وطيف نجمٍ بارد. ادرس الشكل 8.3 تجد أن الصورَ الفوتوغرافية تمثِّل الأصنافَ السبعةَ الرئيسية للأطياف النجمية. ويتميّز كلُّ صنف طيفيٍّ (شأنَ الأرقام على ميزان الحرارة) بصفات تدلُّ على درجة حرارة النجم.

والجدول 1.3 يُجمِل الأصنافَ الطيفية للنجوم على الترتيب بدءاً من أعلاها حرارةً إلى أخفضها حرارة، ويشير كذلك إلى درجات الحرارة السطحية التقريبية لهذه الأصناف، والسمات المميّزة لكل صنف.

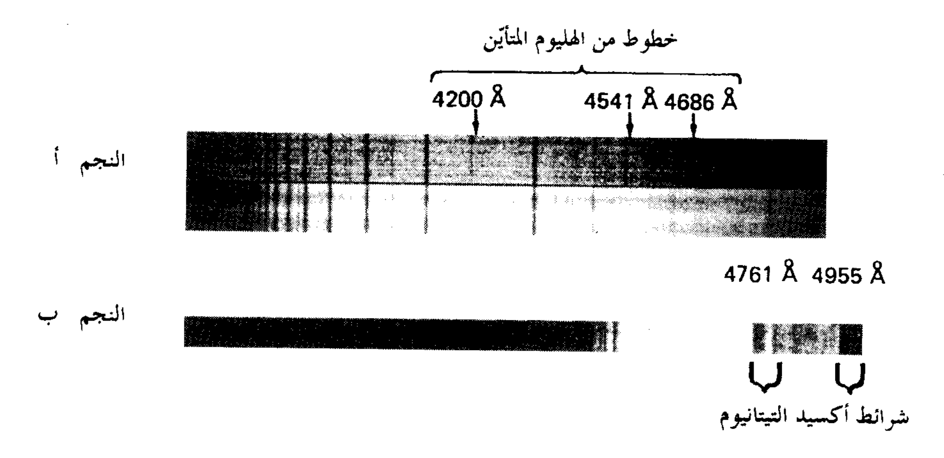
الجدول 1.3 الصفات المميّزة للأصناف الطيفية

الصنف الطيفي	درجة الحرارة التقريبية (بالكلفن)	أبرز مميزات الصنف
O	أعلى من 30,000	خطوط قليلة نسبياً؛ خطوط من الهليوم المتأين.
B	30,000 - 10,000	خطوط من الهليوم المحايد.
A	10,000 - 7,500	خطوط هيدروجين قوية جداً.
F	7,500 - 6,000	خطوط هيدروجين قوية؛ خطوط كالسيوم متأيّن؛ خطوط معدنية عديدة.
G	6,000 - 5,000	خطوط قوية من الكالسيوم المتأيّن؛ خطوط قوية وكثيرة من الحديد المتأين والمحايد، ومعادن أخرى.
K	5,000 - 3,500	خطوط قوية من المعادن المحايدة.
M	أدنى من 3,500	شرائط من جزيئات أكسيد التيتانيوم.

وبإمكانك تحديد الصنف الطيفي لنجم جديد، ودرجة حرارته المحتملة، عن طريق مقارنة طيفه بالصور الفوتوغرافية الواردة في الشكل 8.3، وبالسمات المميِّزة للصنف الواردة في الجدول 1.3.

سَمِّ الصنفَ الطيفيَّ ودرجة الحرارة المحتملة لكلٍّ من النجمَيْن (الشكل 9.3) استنباطاً من طيفيهما (أ) ....؛ (ب) ....

الجواب: (أ) من النوع O (أعلى من 30,000 كلڤن)؛ (ب) من النوع M (أدنى من 3,500 كلڤن).



الشكل 9.3 أطياف النجوم.

8.3 منشأ السمات المميِّزة للأصناف الطيفية

تفسِّر النظريةُ الذريّةُ السببَ في الاختلاف الكبير في الأطياف التي تولِّدها النجوم الزرقاء الحارّة (من الصنف O) والنجوم الحمراء الباردة (من الصنف M)، مع أنها مؤلَّفة من مكوِّناتٍ واحدة تقريباً.

إن لكل عنصر كيميائي درجةَ حرارة وكثافةً تميِّزانه، يكون عندهما في أقصى فاعليته من حيث توليد خطوط الامتصاص المرئية.

فعند درجات الحرارة العالية جداً، كما في النجوم O، تتأيَّن ionize ذرات الغاز، أي تتحطّم، ولا يَسلَم من التأيُّن إلا الذراتُ المُحْكَمَةُ التماسك من قبيل الهليوم المتأيِّن إفرادياً، وبذلك تَسُود خطوطُ الذرات المتأيِّنة الطيفَ. فإذا كانت درجة الحرارة قريبةً من 5800 كلڤن، كما في النجوم G كالشمس، بقيت ذراتُ المعادن كالحديد والنيكل متعادلةً وغير منصدعة. وعند درجات حرارةٍ أدنى من 3500 كلڤن، كما في النجوم M، قد توجد حتى جزيئات من مثل أكسيد التيتانيوم.

ماذا يعني غيابُ خطوط الامتصاص المميِّزة لعنصرٍ معيَّن كالهيدروجين في طيف نجم ما؟ هل هذا يعني بالضرورة أن النجمَ لا يحتوي على ذلك العنصر؟ فسِّر ذلك ....

....

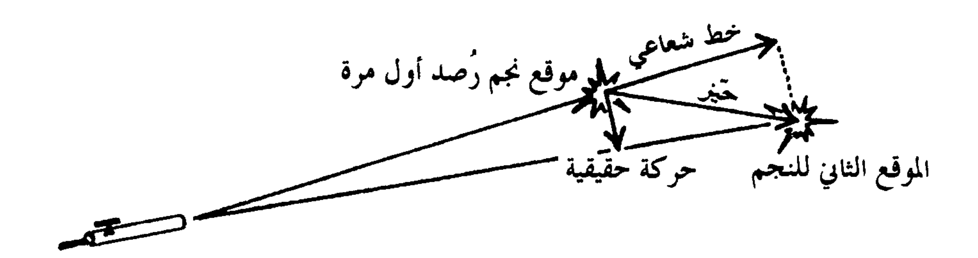
الجواب: لا. إن درجة حرارة النجم هي التي تحدِّد أيَّ أنواع الذرات يمكن أن يولِّد خطوطَ امتصاصٍ مرئية.

9.3 الحركات

تتحرّك النجومُ بسرعةٍ فضائية space velocity، أي بحركة في الفضاء بالنسبة إلى الشمس، تبلغ الكيلومترات في الثانية.

وللسرعة الفضائية مركّبتان، تقاسان كلاً على حدة، هما: السرعة الشعاعية radial velocity، وهي سرعة الحركة على طول خط النظر، نحونا أو بعيداً عنّا؛ والحركة الحقيقية proper motion، وهي مقدار التغيُّر الزاويّ لموقع النجم كلَّ سنة (الشكل 10.3).

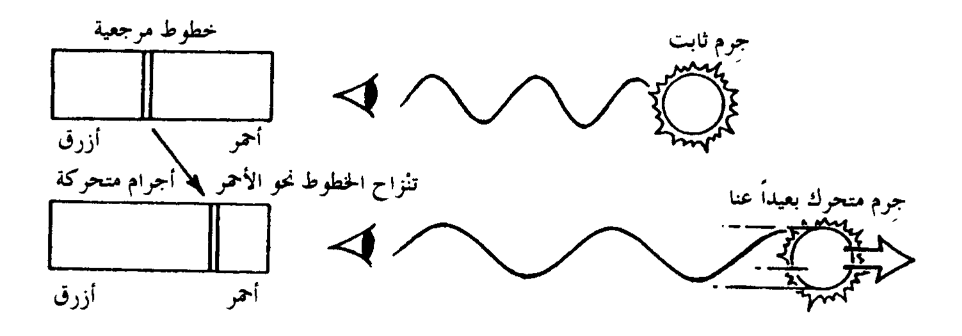
تتحدّد السرعةُ الشعاعيةُ لنجمٍ من تحليل طيفه. وقد اكتشف الفيزيائيُّ النمسوي كريستيان دوپلر Christian Doppler (1803 ـ 1853) ما سمِّيَ انزياح



الشكل 10.3 مركّبتا السرعة الفضائية: السرعة الشعاعية والحركة الحقيقية.

دوبلر Doppler shift، وهي ظاهرةٌ تنطبق على كل ضروب الحركة الموجيّة. فإذا تقارَبَ منبعٌ للأمواج وراصدٌ أو تباعدا، تغيَّرت الأطوالُ الموجيّةُ المرصودة.

تُقارَن الخطوطُ الطيفية لنجم (أطواله الموجية) - فيما يخصّ أيَّ عنصرٍ فيه كالحديد مثلاً - بطيفٍ مرجعيّ. وتوصَف الأطوال الموجيّة لنجم بأنها قصيرة (انزياح أزرق blueshift) أو طويلة (انزياح أحمر redshift) تبعاً لكون النجم متحركاً نحونا أو بعيداً عنّا (الشكل 11.3).

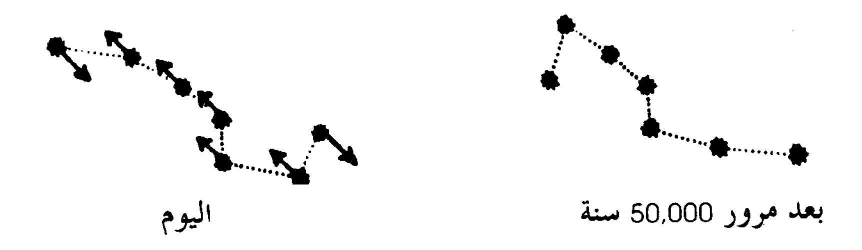


الشكل 11.3 انزياح دوبلر. تقارَن خطوطُ طيف جرم سماوي، فيما يخص عنصراً معيّناً فيه، بخطوط مرجعية. تدلّ الخطوط الطيفية المنْزاحةُ نحو الأحمر على أن الجِرمَ يتحرك بعيداً عنا.

إن التغيُّرَ في الطول الموجيّ ($\Delta\lambda$) مقسوماً على الطول الموجي لمنبعٍ ثابت (λ) يتناسب مع السرعة النسبية (v) (ما لم تكن معادلةً لسرعة الضوء c). ونكتب:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{V}{C}$$

تقاس الحركة الحقيقية كل نحو 20 ـ 30 سنة. وقد وُجد أن معدّل هذه الحركة للنجوم المرئية كافة لا يتجاوز 0,1 ثانية قوسية (0″.1) سنوياً، وهو معدَّلٌ طفيف لا يمكنك معه ملاحظة أيّ تغيُّرٍ في مظهر كوكبتك النجمية المفضّلة مهما طال عمرك. لو أنك بُعثتَ لترصد السماء بعد 50،000 سنة من الآن لرأيتها وقد اختلف مظهرها اختلافاً كبيراً (الشكل 3 .12).



الشكل 3 .12 تدلّ الحركةُ الحقيقية لمجموعة الدبّ الأكبر النجمية اليوم على أن المجموعة ستتخذ مظهراً جديداً مختلفاً بالكلية في المستقبل البعيد.

ما مقدار التغيُّر الزاويّ المتوقَّع لموقع نجمٍ مرئي عادي بعد 50،000 سنة؟ ....

....

الجواب: 5000 ثانية قوسية، أو °1,39 (أي ما يزيد على القطر الزاويّ للقمر، و هو $\frac{1}{2}$°، ثلاث مرات تقريباً).

طريقة الحل: 0″.1 سنوياً × 50,000 سنة = ″5000

10.3 خصائص أخرى

يمكن استنباط معلماتٍ أخرى تتعلق بالنجوم عن طريق إجراء قياساتٍ دقيقة لـ شكل الخطوط الطيفية spectral line shape.

فيعبَّر عن كثافة الغاز density، وهي الكتلة في وحدة حجم، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط التصادمي collisional broadening؛ إذ يتولَّد خطٌّ طيفيّ متّسع عندما يزداد معدّل تصادم الذرات في النجوم ذات الكثافة العالية.

ويعبَّر أيضاً عن الدوران المحوريّ axial rotation، وهو دوران النجم حول محوره، بوساطة ما يسمى اتساع الخطوط الدوراني rotational broadening؛ فالخط الطيفي المتسع - إن أمكن رصده - قد يُحدِث انخفاضاً في حدود معدَّل دوران النجم حول محوره.

يَحدث انشطارٌ أو اتّساعٌ في الخطوط الطيفية بوجود حقلٍ مغنطيسي magnetic field، وهو مجالٌ أو موضع يتكشَّف عن قوىً مغنطيسية، ويُطلق على هذه الظاهرة اسم مفعول زيمان Zeeman effect، بحيث يكون مقدار الانشطار منوطاً بشدة الحقل المغنطيسي.

تجدر الإشارة هنا إلى أن هذه الأنواع المختلفة من الاتساع غيرُ ملحوظةٍ للعين المجرَّدة، بل يمكن تعيينها بالتحليل الدقيق لشكل الخط الطيفي باستعمال مقياس طيفٍ حسّاس.

اذكر ثلاث خصائص لنجم تتصل بشكل خطوطه الطيفية

(1) ....؛ (2) ....؛

(3) ....

الجواب: (1) الكثافة؛ (2) الدوران المحوري؛ (3) شدة الحقل المغنطيسي.

11.3 تفكيك طيف نجم

اكتب فقرةً موجزة تُجمِل فيها أسلوب الفلكيين في استنباط الخصائص المختلفة لنجمٍ من طيفه ....

....

....

....

....

....

....

الجواب: يجب أن تتضمن نبذتك الأفكار الآتية:

(1) التركيب الكيميائي، يُستنبط من وجود الخطوط المميِّزة لعناصر معيَّنة؛

(2) درجة الحرارة، تستنبط من الصنف الطيفي؛

(3) سرعة حركة النجم باتجاهنا أو بعيداً عنّا، تُستنبط من انزياح دوبلر في خطوط الطيف؛

(4) الكثافة، والدوران المحوري، والحقول المغنطيسية السطحية، تُستنبط من شكل الخطوط.

12.3 الضيائية ✪

يفرِّق الفلكيون بين السطوع الظاهري apparent brightness لنجم، وهو مظهر النجم في السماء، وضيائيته luminosity، وهي كمية الضوء الفعلَية التي يرسلها النجم في الفضاء كل ثانية.

ولما كانت الشمسُ مألوفةً لنا أكثر من سائر النجوم، فإن ضيائيةَ النجوم الأخرى تقاس غالباً بدلالة ضيائية الشمس (L⊙)[1] Sun's luminosity ، وهي تساوي 3.85×10^{26} واط. وعلى سبيل التبسيط نقول إن ضيائية الشمس تعادل ضيائية 3850 مليار تريليون مصباح كهربائي استطاعة كلٍّ منها 100 واط تعمل كلها معاً.

وأعلى النجوم ضيائيةً يفوق ضيائيةَ الشمس مليون مرة أو أكثر، في حين لا تتجاوز أخفتُ النجوم 0,0001 ضيائيةَ الشمس.

فنجم رِجْل الجبّار Rigel في كوكبة الجبار Orion مثلاً هو أعلى ضيائيةً من الشمس بنحو 60،000 مرة.

اشرح لماذا تبدو الشمسُ لنا أسطع بكثير من نجم رِجْل الجبّار

....

....

....

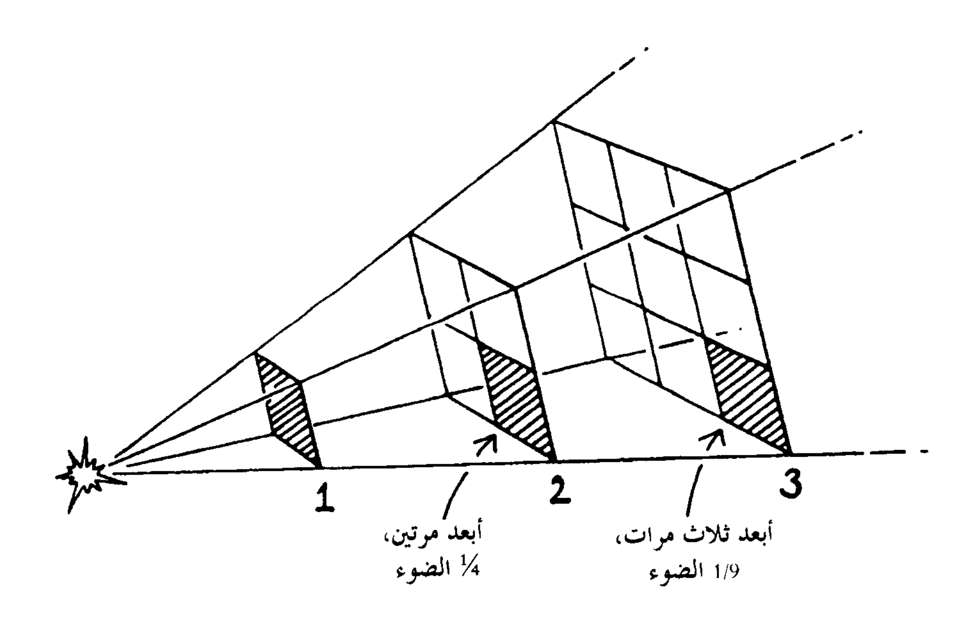
الجواب: إن بُعد رِجْل الجبّار عن الأرض أكبر 50 مليون مرة (1400 سنة ضوئية) أو يزيد من بُعد الشمس عنها (وهو زهاء 150 مليون كيلومتر، أو 93 مليون ميل). ويتوقف السطوعُ الظاهريُّ لنجم على درجة ضيائيته وبُعده معاً.

13.3 انتشار الضوء

من غير الممكن الجزم أيّ نجوم السماء أعلى ضيائيةً بمجرَّد النظر إليها؛ فكلما بَعُدَ النجمُ انخفضت درجةُ سطوعه الظاهري.

(1) كثيراً ما يستعمل الفلكيون الرمز ⊙ (وهو رمز هيروغليفي مصري قديم) للتعبير عن الشمس. وعليه فإن (R⊙) ترمز إلى نصف قطر الشمس، و (M⊙) إلى كتلتها، و(L⊙) إلى ضيائيتها، وهكذا. . . (المعرِّب)

ينتشر الضوءُ الصادر من منبع باطّراد في جميع الاتجاهات، بحيث تتناقص كميةُ ضوء النجم الساطعة على وحدةٍ للمساحة بنسبة مربَّع المسافة الفاصلة عن النجم. تسمّى هذه العلاقة قانون التربيع العكسي inverse square law (الشكل 13.3). إذن فلو تساوت ضيائيةُ نجمَيْن، وكان بُعد أحدهما عنك ضعفَيْ بُعد الآخر، بدا النجمُ البعيدُ بدرجة سطوع تساوي $\frac{1}{4} = \frac{1}{2^2}$ سطوع النجم الذي هو أقرب، لأنك تتلقى رُبعَ الضوء في عينيك[1].



الشكل 13.3 قانون التربيع العكسي. إن كمية ضوء النجم نفسَها التي تسطع على مربع واحد عند 1 تنتشر لتضيء أربعة مربعات تساويه عند 2، و تسعة مربعات تساويه عند 3. تتناقص إذن درجة السطوع الظاهري لنجم بتزايد مربع بُعده.

(1) يمكن تعميم قانون التربيع العكسي ليشمل أي قانون تتغيَّر فيه كميةٌ فيزيائية بتغيُّر المسافة الفاصلة عن المنبع بنسبة مقلوب مربَّع تلك المسافة. (المعرِّب)

إن السطوع الاستثنائي لشمسنا يعزى إلى قربها منّا. فلو تصوَّرنا أن موقعها أعمق 100،000 مرة في فضاء الكون، فبكم مرة ستبدو أضعف سطوعاً؟

....

الجواب: ستبدو أضعف 10 مليارات مرة، أو بدرجة سطوع نجم الشِّعرى اليمانية.

طريقة الحل:

$$\frac{1}{10,000,000,000} = \frac{1}{(100,000)^2}$$ (أي أضعف سطوعاً 10 مليارات مرة)

14.3 القَدْر الظاهري ✪

القدر الظاهري apparent magnitude هو درجة سطوع نجم كما يبدو لنا (انظر الفقرة 7.1). ويقضي سُلَّم الأقدار magnitude scale الحديث بأن نجماً من القدر الأول أسطعُ 100 مرة بالتمام من نجمٍ من القدر السادس.

تتَّفق هذه النسبة مع آلية استجابة أعيننا لزيادات سطوع النجوم. فما تراه أعيننا على أنه زيادةٌ خطّيةٌ في السطوع (فارق قدرٍ واحد) يقاس بالضبط على أنه ازدياد هندسي في السطوع (أي بزيادة سطوع تعادل الجذر الخامس للعدد 100 أو 2,512 مرة).

إن فروق الأقدار بين النجوم تعبِّر عن السطوع النسبي للنجوم. والجدول 2.3 يدرج نِسَبَ السطوع التقريبيةَ المقابلة لنماذج فروق أقدارٍ منتخَبة.

تذكَّرْ أن الأرقام السالبة للأقدار تدلّ على أسطع الأجرام، في حين تشير أكبرُ الأرقام الموجبة للأقدار إلى أخفتها.

استعن بالجدولين 2.3 و 3.3 لمعرفة كم يزيد السطوعُ الظاهري للشمس على سطوع نجم الشِّعرى اليمانية. فسِّر ذلك.

....

....

....

الجواب: هي أسطع 10 مليارات مرة.

طريقة الحل:

فرق القدْر هو $25,5 \cong (-1,5) - (-26,7)$، وهذا يقابل نسبة السطوع 1 : 10،000،000،000.

الجدول 2.3 فروق القدْر ونِسَبُ السطوع

فرق القدْر	نسبة السطوع
1 : 1	0,0
2,5 : 1	1,0
6,3 : 1	2,0
16 : 1	3,0
40 : 1	4,0
100 : 1	5,0
251 : 1	6,0
10,000 : 1	10,0
1,000,000 : 1	15,0
100,000,000 : 1	20,0
10,000,000,000 : 1	25,0

الجدول 3.3 معطيات لنماذج أقدار منتخَبة

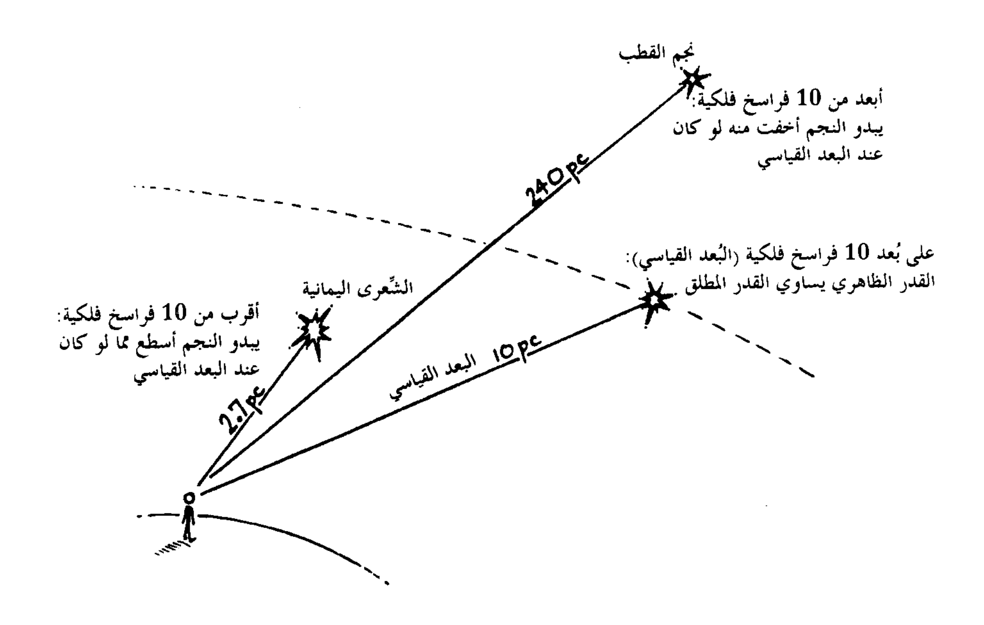
موضوع الدراسة	الوصف	القدر الظاهري	القدر المطلق
الشمس		- 26,7	4,8
مصباح كهربائي باستطاعة 100 واط	عند 3 م (10 أقدام)	- 18,7	66,3
القمر	بدراً	- 12,5	32
كوكب الزُّهرة	عند سطوعه الأعظمي	- 4,7	28
نجم الشِّعرى اليمانية	أسطع النجوم	- 1,5	1,4
نجم α حَضَار	أقرب نجم منظور	0	4,4
مجرَّة المرأة المسلسلة (أندروميدا)	أبعد جِرمٍ منظور	3,5	- 21

15.3 القَدْر المطلق

القدر المطلق absolute magnitude هو درجة الضيائية، أي كمية الضوء الفعلية التي يطلقها نجمٌ في الفضاء. ولو كان في وسعك أن ترى كلَّ النجوم مصطفَّةً على مسافةٍ واحدة من الأرض لأمكنك أن تعاين الفروقَ في درجة سطوعها الحقيقية.

يعرِّف علماءُ الفلك القدرَ المطلق لنجم على أنه قدره الظاهري بافتراض وقوعه على بُعدٍ قياسيٍّ عنّا هو 10 فراسخ فلكية. وبإلغاء الآثار المترتبة على البُعد، يمكنهم استعمال مقايسات القدر المطلق لتحديد الفروق في الخرج الضوئي الفعلي للنجوم (الشكل 14.3).

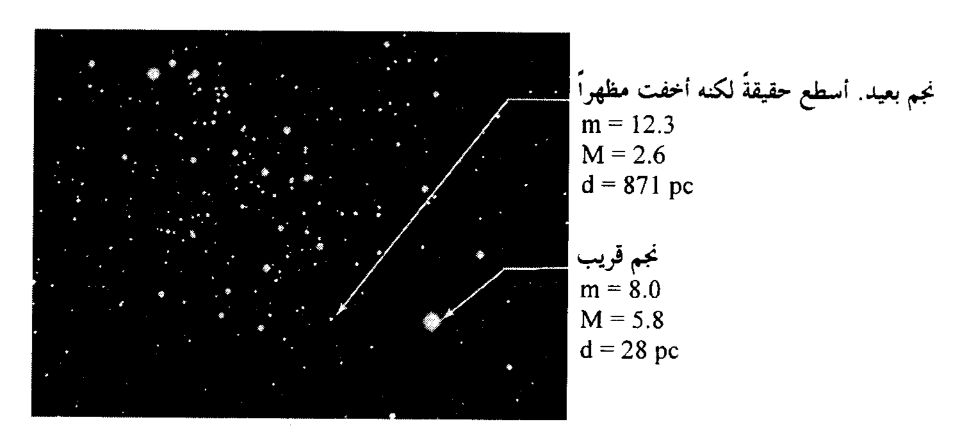
فإذا وُجد نجمٌ على بُعد يزيد على 10 فراسخ فلكية عنّا، كان قدره الظاهري أكبر - عددياً - من قدره المطلق. (الأرقام الكبيرة الموجبة للأقدار تدلّ على أجرام خافتة). على سبيل المثال، يبعد نجم القطب 240 فرسخاً فلكياً، وقدره الظاهري 2,3+، وقدره المطلق 4,6-.



الشكل 3.14 القَدْر المطلق والقَدْر الظاهري.

بالمقابل، فإن نجماً يقلّ بُعده عن 10 فراسخ فلكية، يكون قدره الظاهري أصغر ـ عددياً ـ من قدره المطلق. واستناداً إلى ذلك فإن الشِّعرى اليمانية Sirius يبعد عنّا 2,76 فرسخين فلكيين، وقدره الظاهري 1,5 ـ ، لكن قدره المطلق +1,4 فقط.

ادرس النجمَيْن الساطعَيْن ذَنَب الدجاجة Deneb والنسر الواقع Vega، واستَعِنْ بالجدول 1,1 لملء المخطط التالي. ثم اذكر (أ) أيهما يبدو أشد سطوعاً؟ .... ؛ (ب) أيهما أعلى ضيائية فعلاً؟ .... ؛ (ج) ما العامل الذي جعل جوابَيْك عن (أ) و (ب) مختَلِفَيْن؟ ....



الشكل 15.3 حشودٌ نجمية، يظهر منها الفرق بين القدر الظاهري والقدر المطلق. النجم البعيد (أسطع حقيقةً لكنه يبدو أخفت من الآخر): m = 12.3؛ M = 2.6؛ d = 871 فرسخاً فلكياً. النجم القريب: m = 8.0؛ M = 5.8؛ d = 28 فرسخاً فلكياً.

نجمان ساطعان

النجم	كوكبته	قدْره الظاهري	قدْره المطلق
ذنب الدجاجة	الدجاجة Cygnus	(أ)	(ب) ....
النسر الواقع	الشلياق Lyra	(ج)	(د) ....

الجواب: على المخطط: (أ) 1,25؛ (ب) -7,5؛ (ج) 0,03؛ (د) 0,6.

(أ) النسر الواقع (لأن قدْره الظاهري أصغر عددياً).

(ب) ذنب الدجاجة (لأن قدْره المطلق أكثر سلبية ـ عددياً ـ).

(ج) بُعد النجوم عنّا.

16.3 حساب المسافات من الأقدار

يسمى الفرق بين القدْر الظاهري (m) والقدر المطلق (M) مُعايِر (مُعامل) المسافة (m-M) distance modulus. وتكتب الصيغة كما يأتي:

$$m - M = 5\log\left(\frac{\text{المسافة مقدّرة بالفراسخ}}{10}\right)$$

ومن الممكن قياس القدْر الظاهري لنجم مباشرة. وفي حالة نجم ناءٍ تعذَّر قياس خطأ منظره ولكن عُرِفَ قدْرُه المطلق (من دراسة طيفه مثلاً)، يمكن الاستعانة بمعايير المسافة لحساب بُعده.

من الشكل 15.3 أعطِ مُعايِر المسافة للنجمين

(أ) القريب ....

(ب) البعيد ....

الجواب: (أ) 2,2؛ (ب) 9,7.

17.3 مقايسات

أكِّدْ استيعابك لما عُرِض حتى الآن، بالإجابة عن الأسئلة التالية المتعلقة بأربعة من النجوم المجاورة للشمس، الواردة مواصفاتها في الجدول التالي:

أربعة نجوم قريبة

اسم النجم	قدْره الظاهري	قدْره المطلق	صنفه الطيفي	اختلاف منظره (")
α حَضَار	0,0	4,3	G	0,742
الثعبان	4,7	5,9	K	0,176
نجم بارنارد	9,5	13,2	M	0,549
النسر الطائر	0,8	2,1	A	0,194

أيُّ هذه النجوم هو:

(أ) أشدُّها حرارة؟ .... (ب) أكثرها برودة؟ .... (ج) أسطعها مظهراً؟ .... (د) أخفتها مظهراً؟ .... (هـ) أعلاها ضيائية فعلية؟ .... (و) أخفضها ضيائية فعلية؟ ....

(ز) أقربها؟ .... (ح) أقصاها؟ ....

اشرح إجابتك.

الجواب:

(أ) النسر الطائر، صنفه الطيفي A؛ (ب) نجم بارنارد، صنفه الطيفي M؛

(ج) α حَضَار، قدره الظاهري 0.0؛ (د) نجم بارنارد، قدره الظاهري 9.5؛

(هـ) النسر الطائر، قدْره المطلق 2.2؛ (و) نجم بارنارد، قدْره المطلق 13.2؛

(ز) α حَضَار، اختلاف منظره = 742. "0،

$$\text{أو بُعد} = \frac{1}{\text{اختلاف منظره}} = \frac{1}{0''.742} = 1.3 \text{ فرسخ فلكي؛}$$

(ح) الثعبان، اختلاف منظره = 176. "0،

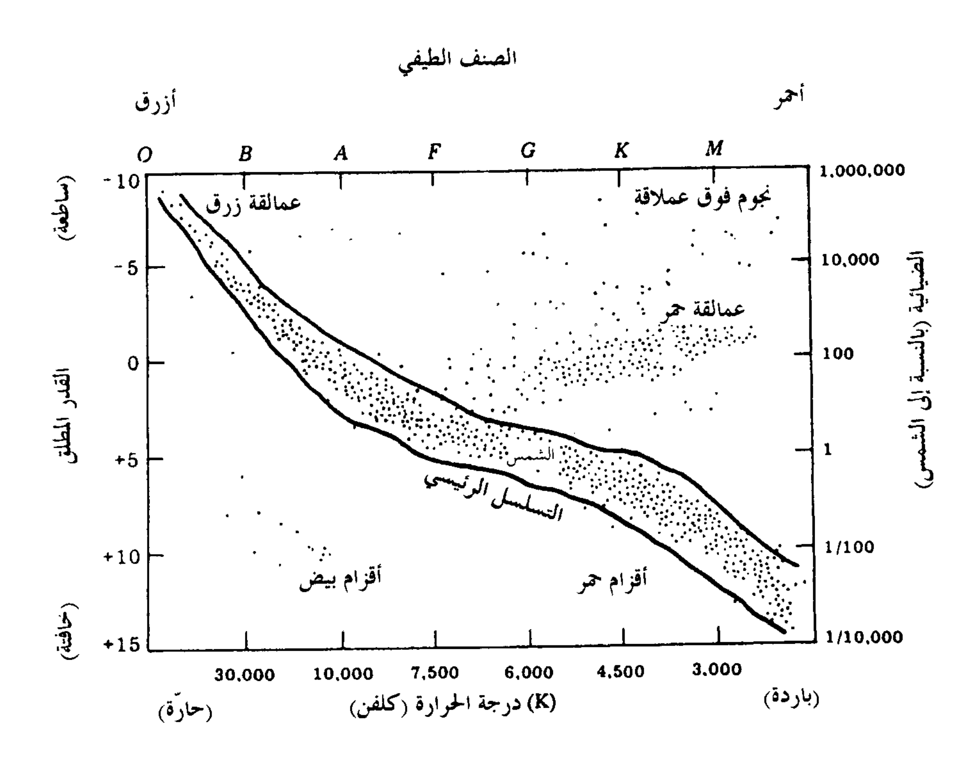
$$\text{أو بُعده} = \frac{1}{0''.176} = 5.7 \text{ فرسخ فلكي.}$$

18.3 مخطط هرتزسبرونغ - راسل

عُرِفت الصلةُ بين ضيائية النجوم ودرجة حرارتها في مطلع القرن العشرين، عندما اكتشفها اثنان من علماء الفلك كلٌّ على حدته: الأمريكي هنري راسل Henry N. Russell (1877 - 1957) والدنمركي إجنار هرتزسپرونغ Ejnar Hertzsprung (1893 - 1967)[1]. ومخطط هرتزسپرونغ - راسل Hertzsprung Russell (H-R) diagram (أو «مخطط "H-R" اختصاراً) رسمٌ بيانيٌّ للضيائية مقابل درجة الحرارة، وهو بِمَنْزلة إمام للفلكيين يعودون إليه على نطاق واسع للتوثُّق من صحة نظرياتهم (الشكل 16.3).

تمثِّل كلُّ نقطةٍ على مخطط H-R نجماً تُقرأ درجةُ حرارته (صنفه الطيفي) على المحور الأفقي، ودرجة ضيائيته (قدره المطلق) على المحور الشاقولي.

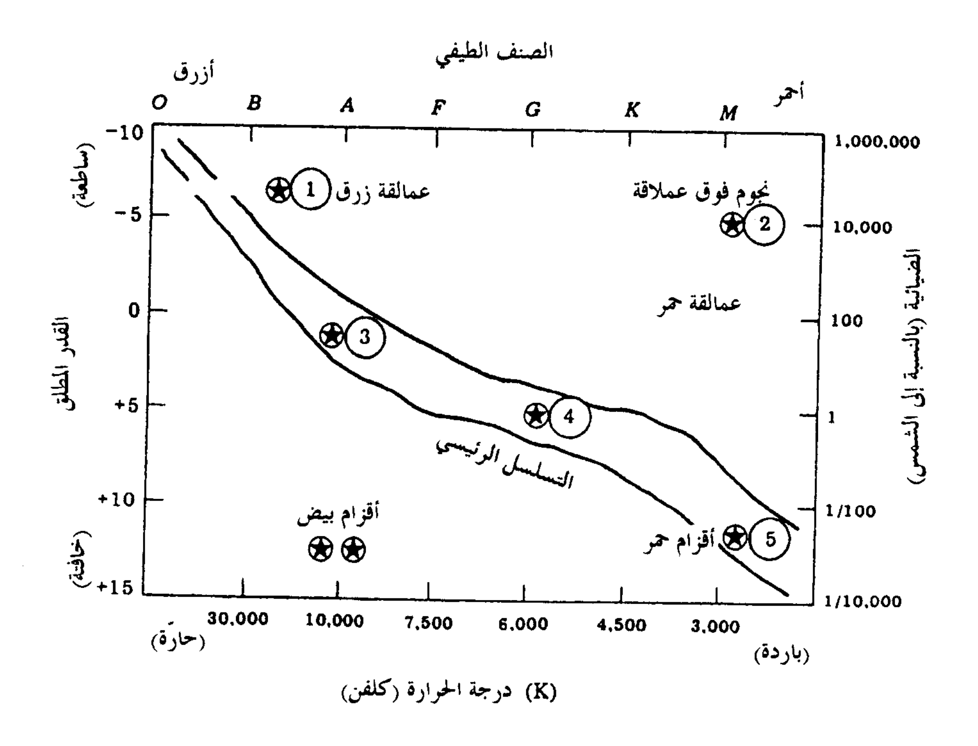
(1) إن هذا الجهد العلمي المتزامن من عالِمَيْن يعمل كلٌّ منهما مستقلاً عن الآخر، وعلى طرفَيْن متقابلين من المحيط الأطلسي، لهو مثالٌ صارخٌ على أن التطوُّر العلميَّ في كل زمان وحدةٌ متكاملةٌ لا يجزِّئها البُعد المكاني. (المعرِّب)



الشكل 16.3 مخطط H-R يمثل عدداً كبيراً من النجوم. لاحظْ تزايُدَ درجةِ الحرارة من اليمين إلى اليسار، وتزايد درجة الضيائية من الأسفل إلى الأعلى.

ومن المهم ملاحظة أنه عند اختيار عدة آلاف من النجوم اختياراً عشوائياً، وتمثيلها بيانياً على مخطط H-R، أنها تقع ضمن مناطق محدَّدة. وهذا النموذجُ يوحي بوجود علاقة ذات معنى تربط بين ضيائية نجم ودرجة حرارته، وإلا لكانت النقاط متبعثرةً كيفما اتفق في جميع أنحاء المخطَّط.

يلاحَظ أن نحو 90 بالمئة من النجوم تنتشر على شريط يسمّى التسلسل الرئيسي main sequence يمتد [قطرياً] من الزاوية العليا اليسرى (نجومٌ عملاقةٌ زرقاء blue giants حارّة وساطعة) للمخطط، إلى الزاوية السفلى اليمنى (نجومٌ قزمةٌ حمراء red dwarfs باردة وخافتة). هذا مع العلم بأن الأقزام الحمراء هي أكثر أنواع النجوم القريبة شيوعاً.



الشكل 3.17 مخطط H-R غير تام لنجومٍ مختارة.

أما نسبة الـ 10 بالمئة الباقية من النجوم فتقع إما ضمن المنطقة اليمنى العليا (نجوم عملاقة giants وفوق عملاقة supergiants باردة وساطعة)، وإما في الزاوية اليسرى السفلى (أقزام بيضاء white dwarfs حارة وخافتة).

حدِّد موقعَ النجوم التالية المبيّنة على مخطط H-R في الشكل 3.17. تجد القدْر المطلق لكل نجم بين قوسين. استعِنْ بالشكل 3.8 لمعرفة درجة الحرارة والصنف الطيفي.

(أ) رِجْل الجبّار (6,6 ـ) ....

(ب) النسر الواقع (0,6) ....

(ج) الشمس (4,8) ....

(د) منكب الجوزاء (5,0 ـ) ....

(هـ) نجم بارنارد (13,2) ....

الجواب: (أ) 1 ؛ (ب) 3 ؛ (ج) 4 ؛ (د) 2 ؛ (هـ) 5.

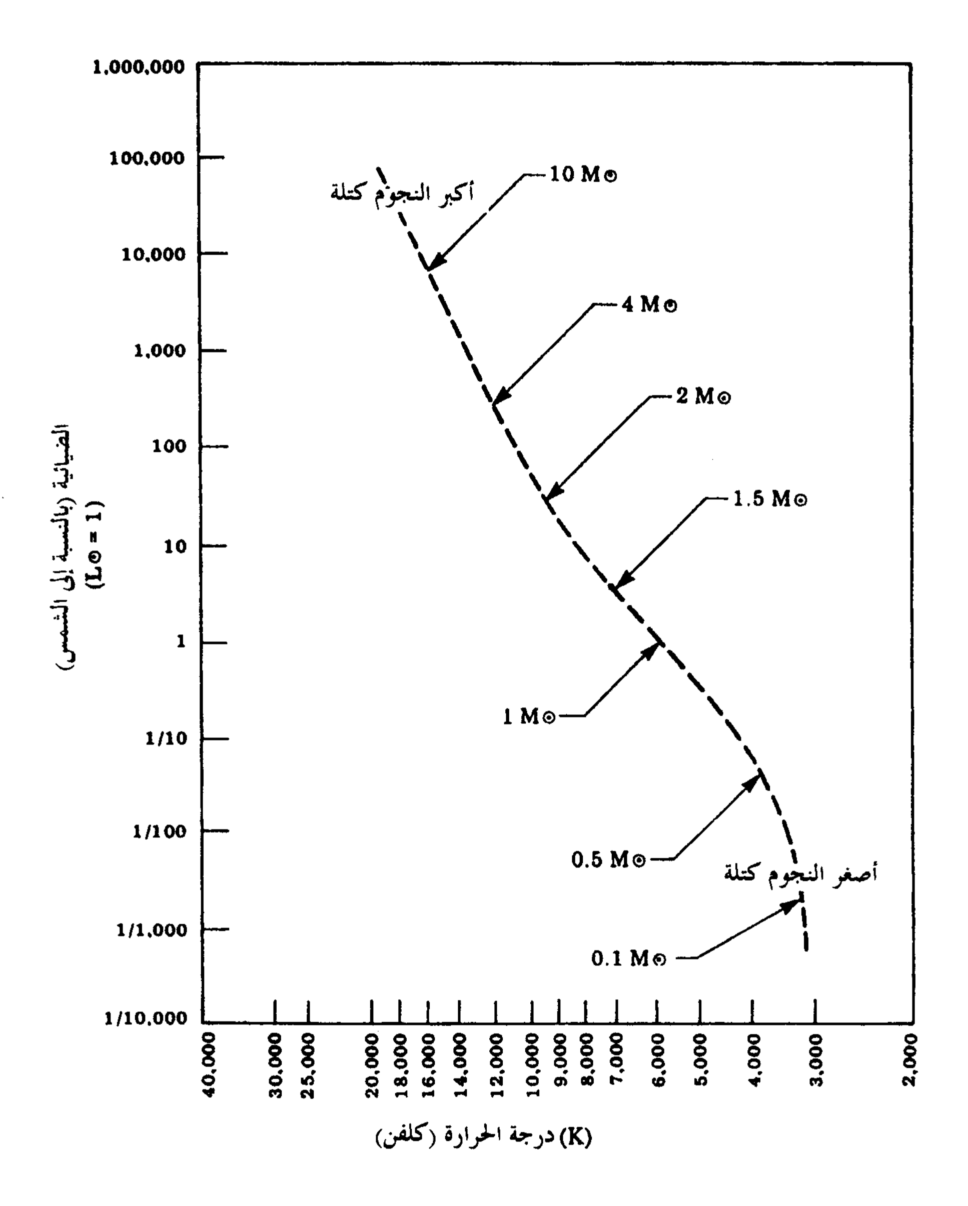
19.3 علاقة الكتلة بالضيائية

إن كتلةَ mass نجمٍ ما (أي مقدار ما يحويه من مادة) هي التي تحدِّد موقعَه على التسلسل الرئيسي.

والتسلسل الرئيسي نَسَقٌ متتابع من النجوم بترتيبٍ متناقص الكتلة، يبدأ بأكبرها كتلةً وأعلاها ضيائيةً في الطرف العلوي، وينتهي بأصغرها كتلةً وأدناها ضيائية في الطرف السفلي (الشكل 18.3).

بيّنت التجربةُ أن علاقة الكتلة بالضيائية mass-luminosity relation لنجوم من التسلسل الرئيسي منتميةٍ إلى منظوماتٍ ثنائية تقضي بأن ضيائية نجمٍ تزدادُ بازدياد كتلته، أي أن هذه الضيائية متناسبةٌ تقريباً مع كتلته مرفوعةً إلىَ الأسّ 3,5.

إن كتلة الشمس mass of the Sun (أو M⊙ اختصاراً) تساوي 2×10^{30} كغ، أي ما يقارب 333،000 مرة كتلة الأرض. وقد وُجد أن الكتلَ النجمية لا تتفاوت كثيراً على امتداد التسلسل الرئيسي كتفاوت درجات الضيائية النجمية. فكتلة أعتمِ الأقزام الحمراء يناهز عُشْر كتلة الشمس. (وقد يضيء جِرمٌ شبيهٌ بنجم، تقَع كتلته بين 1/ 100 و1/ 10 كتلة الشمس يسمى القزم البنّي brown dwarf، لمدة وجيزة، إلاّ أن صِغَرَه لا ينهض به لأنْ يَسْخُنَ بدرجة تكفي لكي يصبح نجماً). كذلك فإن أكبر كتلةٍ لنجمٍ مستقر يزيد على كتلة الشمس نحواً من 60 إلى 75 مرة.



الشكل 18.3 كُتَل بعض نجوم التسلسل الرئيسي النموذجية. ($M\odot$ = كتلة الشمس)

ما الخاصيّة الأساسية التي تحدِّد موقعَ نجمٍ على التسلسل الرئيسي لمخطط H-R ؟ بتعبير آخر: ما الذي يحدِّد درجةَ ضيائيته ودرجةَ حرارته؟ ....

الجواب: كتلته.

20.3 قياسات النجوم وكثافاتها ✪

إن شمسنا هي النجمُ الوحيد الذي يقع على مقربةٍ كافية تتيح لعلماء الفلك إجراءَ قياساتٍ مباشرة عليه.

يبلغ قُطر الشمس 1,39 مليون كيلومتر (قرابة 864،000 ميل)، وذلك يساوي مجموع أقطار 109 أرَضِين لو تراصفت إحداها إلى جانب الأخرى.

وإذا عُرِفَتْ ضيائيةُ نجمٍ ودرجةُ حرارته المطلقة، أمكن من ثمّ حساب نصف قطره بتطبيق قانون ستيفان ـ بولتزمان في الإشعاع Stefan-Boltzmann radiation law الذي ينص على أن ضيائيةَ نجم (L) تتناسب مع مربَّع نصف قطره (R) مضروباً في القوة الرابعة لدرجة حرارة سطحه (T). فتُكتب المعادلة:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

حيث σ هي ثابت ستيفان ـ بولتزمان (الملحق 2).

وتتفاوت قياساتُ النجوم على التسلسل الرئيسي، من ضخمة جداً هي العمالقة الزرق ـ البيض التي يناهز نصفُ قطرها 25 مرة نصف قطر الشمس ($R_\odot$) إلى النجوم الأقزام الحمر الباردة المعروفة لدى الفلكيين، التي لا يتجاوز نصفُ قطرها 1/10 نصف قطر الشمس لا أكثر.

أظهرت الدراسات أن أضخم النجوم هي النجوم فوق العملاقة supergiants من قبيل منكب الجوزاء Betelgeuse في كوكبة الجبّار Orion، إذ يزيد نصفُ قطر هذا النجم على نصف قطر الشمس زهاءَ 400 مرة. تَصوَّرْ

إمكانَ اتساع منكب الجوزاء لأكثر من مليون نجم كشمسنا بداخله! ويُذكَر أن أصغر النجوم الشائعة هي الأقزام البيض التي يقارِب حجمُها حجمَ الأرض.

تبلغ كثافةُ density الشمس الوسطيةُ، أي الكتلة في وحدة الحجم، 1,4 غ/سم^3، وهي أعلى بقليل من كثافة الماء. فالنجوم العمالقة الحمر وكذلك النجوم الأقزام البيض تقارب في كُتَلها كتلةَ الشمس، غير أنها تتفاوت كثيراً في أحجامها.

ماذا تقول في كثافات العمالقة الحُمر والأقزام البيض قياساً إلى الشمس؟ ....

....

....

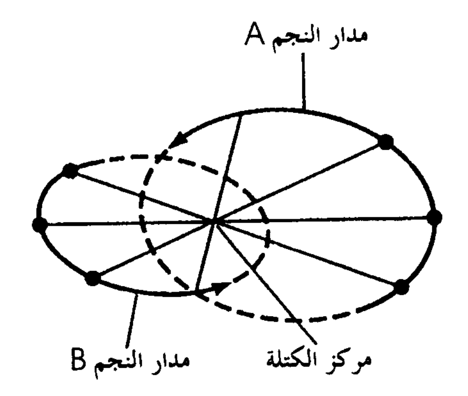
....

....

الجواب: كثافة العمالقة الحُمر منخفضةٌ جداً قياساً إلى الشمس، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه ضمن حجم أكبر بكثير. (كثافتُها الوسطية تقارب كثافةَ الخواء هنا على الأرض). أما الأقزام البيض فكثيفةٌ جداً، فهي تحتوي على مقدار الكتلة نفسه متراصّاً داخل حجمٍ أصغر بكثير. (ملءُ ملعقةٍ صغيرة من مادةِ قزمٍ أبيض قد تزن عدة أطنان على الأرض).

21.3 منظوماتٌ نجمية مزدوجة ✪

قد يبدو الكثير من النجوم للعين المجرَّدة نجوماً منفردةً وهي في الواقع ليست كذلك. يتكوَّن النجمُ الثنائي (الثنائية النجمية) binary star من نجمين يدوران حول مركز ثقالةٍ مشترك في أثناء انتقالهما عبر الفضاء معاً (الشكل 19.3). ويمكن حساب كتل هذه النجوم من القياس الزاويّ ودَوْر مداراتها.



الشكل 19.3 تتألف الثنائيةُ النجميةُ من نجمين A و B يدوران حول مركز كتلةٍ مشترك، ويتماسكان بفعل قوة الجذب التثاقلي المتبادل.

تصنَّف الثنائيات النجميّة بحسب الطريقة التي تُرصد فيها.

ويمكن ـ باستعمال مقراب ـ «فكُّ» ثنائيةٍ نجميّةٍ مرئيّة visual binary بحيث تُرى كنجمَيْن منفصلَيْن. ويُعرف حتى اليوم أكثرُ من 70،000 ثنائية مرئية، اكتُشِف أوَّلُها، وهو نجم الإزار Mizar من كوكبة الدب الأكبر، سنة 1650. وهناك نجم ألبيريو Albireo البديع من كوكبة الدجاجة Cygnus، بلونيه الأصفر والأزرق، ومثل ذلك كثير مما يمكن رؤيته حتى باستعمال مقراب صغير. (انظر: «مصادر مفيدة»، ولاسيما ما كان منها دليلاً للراصدين، في نهاية الكتاب).

ثم إن كثيراً من النجوم المرئية قد تقترن بنجوم رفيقة companions لا تُرى لخفوتها الشديد. يسمى هذا النوع من النجوم بالثنائية النجمية القياسية astrometric binary، وهي نجمٌ مرئي يلازمه نجمٌ رفيقٌ غير مرئي، يُستدَلُّ على وجوده من الحركة الحقيقية المتغيِّرة للنجم المرئي. ونجم الشِّعرى اليمانية الساطع (Sirius A) من كوكبة الكلب الأكبر Canis Major، كان ثنائيةً قياسية منذ سنة 1844، عندما تراءت طبيعته للعلماء، وحتى سنة 1862 عندما رُصِد رفيقه الكابي (Sirius B).

أما الثنائية الطيفية spectroscopic binary فلا يمكن رؤية عنصرَيْها منفصلَيْن بوساطة المقراب، بل تستبين طبيعتُها الثنائية من طيفها، إذ يظهر انزياح دوبلر متغيِّر في الخطوط الطيفية للنجم كلما اقترب من الأرض وابتعد عنها. وقد جرى تحليل ما يقرب من ألفٍ من الثنائيات الطيفية حتى اليوم. ومن الأمثلة عليها العنصرُ الساطع من نجم الإزار (Mizar A).

وتتوضَّع الثنائيةُ الكَسوفة eclipsing binary بحيث يمرّ أحد النجمَيْن من أمام رفيقه، فيحجب الضوءَ عن رؤيتنا عند مسافات زمنية منتظمة. فيلاحَظ تغيُّر منتظمٌ في درجة سطوع هذا النوع من الثنائيات النجمية. وتستطيع رؤيةَ الثنائية الكَسوفة المعروفة في الأوساط الفلكية، والمسماة رأس الغول Algol من كوكبة فرساوس Perseus، التي تنتقل من أسطع قدرٍ لها 2,2 إلى أدنى قدر 3,5 في نحو يومين و 21 ساعة.

والنجمُ المزدوج البصري optical double زوجٌ من النجوم يبدو أحدُ عنصرَيْه قريباً من الآخر في السماء عند رصده من الأرض، إلا أنه في الواقع أكثر بُعداً بكثير مما قد يظهر. ولا تربط أحدهما أي علاقة فعلية بالآخر.

اختبر حدّةَ إبصارك بالبحث عن نجمَي الإزار Mizar والسُّها Alcor المكَنَّيان بالمخبارَيْن the testers اللذين يؤلِّفان مزدوجاً بصرياً يقع في قبضة الدبّ الأكبر.

ما وجه اختلاف نجمٍ مزدوجٍ بصريٍّ عن ثنائيةٍ نجميةٍ مرئية؟ ....

....

....

الجواب: إن نجمَي المزدوج البصري متباعدان، وليس ثمة علاقة حقيقية تربط بينهما، على حين يتماسك نجما ثنائيةٍ مرئية في جوّ الفضاء بفعل تجاذبهما التثاقلي.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثالث وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عُدْ إلى الجدول الوارد في الفقرة 17.3. من اختلاف المنظر أوجد المسافة إلى نجم بارنارد

(أ) بالفراسخ الفلكية ....؛

(ب) بالسنوات الضوئية ....

2. علِّلْ كون الخطوط الطيفيَّة الساطعة (القاتمة) للضوء الصادر عن (الممتَصّ بفعل) ذرات عنصر هي خطوط متفرِّدة لذلك العنصر ....

....

....

....

....

3. اشرح آلية تكوُّن الطَّيْف ....

....

....

....

....

4. صنِّفْ أنواعَ الخطوط الطيفية التالية وفقاً لترتيب ظهورها في النجوم،

تنازلياً حسب درجة الحرارة.

.... (1) خطوط هيدروجين قوية جداً.

.... (2) هليوم متأيِّن.

.... (3) شرائط من جزيئات أكسيد التيتانيوم.

.... (4) هليوم محايد.

.... (5) معادن محايدة.

.... (6) معادن متأيِّنة.

5. قابل الخصائصَ التالية المستنبَطة من طيفٍ نجميّ بالطريقة التي تناسبها إلى اليسار.

.... (أ) التركيب الكيميائي. (1) انزياح دوبلر.

.... (ب) درجة الحرارة. (2) الصنف الطيفي.

.... (ج) السرعة الشعاعية. (3) شكل الخط.

.... (د) كثافة الغاز، (4) الخطوط المميِّزة.

والدوران المحوري،

والحقل المغنطيسي.

6. تبلغ الحركة الحقيقية لنجم الشِّعرى اليمانية 1,34" سنوياً. احسب كم سيتغيَّر موقع هذا النجم على الكرة السماوية في غضون السنوات الألف المقبلة ....

7. عرِّفِ السرعة الفضائية ....

....

8. عُدْ إلى الجدول 1.1، وقابلْ كلَّ صفةٍ من العمود الأيمن بواحدٍ من النجوم الأربعة في العمود الأيسر، وذلك بالاستفادة من أقدارها الظاهرية، وأقدارها المطلقة، وأصنافها الطيفية.

.... (أ) أشدّها حرارة.	(1) منكب الجوزاء.
.... (ب) أبردها.	(2) الشِّعرى الشاميّة (الغميصاء).
.... (ج) أعلاها ضيائية.	(3) السنبلة.
.... (د) أدناها ضيائية.	(4) الشِّعرى اليمانيّة.
.... (هـ) أسطعها.	
.... (و) أخفتها.	
.... (ز) أقربها.	
.... (ح) أبعدها.	

9. أثبت المسمَّياتِ التاليةَ على مخطط H-R في الشكل 20.3:

(1) حرارة النجم السطحية (كلفن).

(2) الضيائية المطلقة (الشمس = 1).

(3) الصنف الطيفي.

(4) القدْر المطلق.

(5) التسلسل الرئيسي.

(6) عمالقة حمر.

(7) أقزام بيض.

(8) نجوم فوق عملاقة.

(9) عمالقة زرقاء.

(10) أقزام حمر.

10. ما هي الخاصّية الأساسية التي تحدِّد موقعَ نجمٍ على التسلسل الرئيسي (أي درجةَ حرارته وضيائيتَه)؟ ....

11. استعن بمخطط H-R لتفسير وجوب كون النجوم العمالقة الحمر كبيرة جداً، والنجوم الأقزام البيض صغيرة جداً مقارنةً بالشمس ....

....

....

أزرق (أ)________________ أحمر

O B A F G K M

(ساطع) -10 -5 0 +5 +10 +15 (خافت) (د)

1,000,000 10,000 100 1 1/100 1/10,000 (ج)

(ح)________ (هـ)________ (و)________ (ز) الشمس (ط)________ (ي)________

30,000 10,000 7,500 6,000 4,500 3,000

(ب)________________

الشكل 20.3 مخطط H-R غير تام

12. وائم:

.... (أ) يمكن استبانة عنصرَيْه باستعمال مقراب.

(1) النجم الثنائي القياسي.

.... (ب) يُستدَلّ على رفيقه غير المرئي من الحركة الحقيقية المتغيِّرة للرفيق المرئي.

(2) النجم الثنائي الكَسوف.

.... (ج) تتكشف طبيعتُه الثنائية من طيفه.

(3) النجم المزدوج البصري.

.... (د) تتغيَّر درجةُ سطوعه بانتظام عندما يحجب أحدُ النجمين رفيقَه عن رؤيتنا.

(4) الثنائي الطيفي.

.... (هـ) ليس ثمة علاقة فعلية تربط بين عنصريه.

(5) الثنائي المرئي.

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. (أ) 1,8 فرسخ فلكي؛ (ب) 6,0 سنوات ضوئية.

(الفقرة 3.1)

طريقة الحل: اختلاف المنظر المعلوم هو "0,549

ومن ثم: 1 ÷ "0,549 = 1,8 فرسخ فلكي.

2. إن كل خطٍّ طيفيٍّ هو ضوءٌ ذو طولٍ موجيٍّ معيَّن تُصْدِره (أو تمتصُّه) الذَّرةُ عندما يقفز أحد إلكتروناتها بين مستوى طاقة (مدار) عالٍ وآخر أخفض منه. ولما كان لكل عنصرٍ مجموعته الفريدة الخاصة به من المدارات المتاحة، استتبع ذلك أن يكون له مجموعته المميِّزة من الخطوط الطيفية كذلك.

(الفقرتان 3.2 و3.3)

3. النجومُ كراتٌ غازيةٌ عظيمةٌ متَّقدة، من ذرّاتها أنواعٌ كثيرةٌ تُطلِق ضوءاً من كل الألوان. يَعبر هذا الضوءُ ـ الصادر عن سطح النجم ـ الغلافَ الجويَّ الخارجيَّ للنجم، وهناك تَمتَصُّ ذراتُ كلِّ عنصرٍ أطوالَها الموجيَّة المميّزة، وهكذا يتقاطع نموذجٌ من خطوطٍ قاتمة مع شريط الألوان المستمر، ذلك هو طيف النجم.

(الفقرتان 3.3 و3.4)

4. 2؛ 4؛ 1؛ 6؛ 5؛ 3

(الفقرة 3.7)

5. (أ) 4؛ (ب) 2؛ (ج) 1؛ (د) 3

(الفقرة 3.3 والفقرات 3.5 إلى 3.10)

6. "1340، أو ثلث درجة تقريباً.

طريقة الحل: الحركة الحقيقية = 1,34" سنوياً. 1 درجة = 3600"

(1,34" سنوياً) × 1000 سنة

(الفقرة 3.9)

7. هي سرعة نجمٍ بالنسبة إلى الشمس.

(الفقرة 3.9)

8. (أ) 3؛ (ب) 1 ؛ (ج) 1؛ (د) 2؛ (هـ) 4؛ (و) 3؛ (ز) 4؛ (ح) 1

(الفقرات 3.6 و3.7 و3.12 إلى 3.16)

طريقة الحل:

النجم	الصنف الطيفي	المسافة (ly)	القدر الظاهري	القدر المطلق
منكب الجوزاء	M	522	0,45	- 5,0
الشِّعرى الشامية (الغميصاء)	F	11,4	0,41	2,8
السنبلة	B	262	0,98	- 3,6
الشِّعرى اليمانية	A	9	- 1,44	1,5

9. (أ) 3؛ (ب) 1 ؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (هـ) 8؛ (و) 6؛ (ز) 5؛ (ح) 9؛ (ط) 10؛ (ي) 7

(الفقرة 3.18)

10. كتلته.

(الفقرة 3.19)

11. النجوم العمالقة الحمر باردةٌ نسبياً لكنها مضيئة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية كبيرة. أما النجوم الأقزام البيض فهي حارّةٌ نسبياً لكنها خافتة؛ ومن ثم فلا بد أن يكون لها طاقة إشعاع سطحية محدودة في الفضاء.

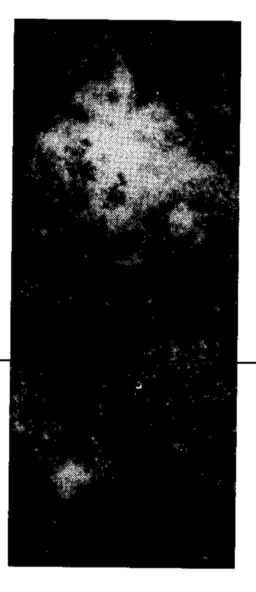
(الفقرات 3.18 إلى 3.20)

12. (أ) 5؛ (ب) 1؛ (ج) 4؛ (د) 2؛ (هـ) 3

(الفقرة 3.21)

4

الشمس



ها إنكِ تبزغين بديعة وضّاءة في أفق السماء أيتها الشمس المضطرمة التي بدأت بك الحياة!

أخناتون (نحو 1386 ـ 1358ق.م)
«Hymn to the Sun»

الأهداف:

- إيراد بعض الأسباب التي حملت علماء الفلك المحْدَثين على دراسة الشمس.
- تعريف الثابت الشمسي، وبيان أهمية معرفةِ كونه ثابتاً بالفعل مع الزمن.
- تعريف الواحدة الفلكية.
- وصف عملية تكوُّن الشمس، وبيان خصائصها وحركاتها، باعتبارها نجماً.
- الإشارة إلى بنية الشمس، وتعريفُ الإكليل الشمسي، والكرة الكونيَّة، والكرة الضوئيَّة، ومنطقة الحَمْل، ومنطقة الإشعاع، ولبّ الشمس.
- وصف دوران الشمس وحقلها المغنطيسي.
- إيراد الأبعاد الماديّة الأساسية للشمس.

- ذكر بعض الوسائل والتكنولوجيات الحديثة المتَّبعة في دراسة الشمس.
- تعرُّف منشأ البقع الشمسية (الكَلَف الشمسي) وخصائصها وطبيعتها الدوريّة، وبيان علاقة التغيُّرات التي تطرأ على الكَلَف الشمسي بالفعالية الشمسية.
- مقارنة منشأ وطبيعة الحُبَيْبات الشمسية والصَّياخِد واللَّطْخ وألسنة اللَّهب والشُّواظ.
- بيان منشأ الريح الشمسية وطبيعتها.
- إيضاح لغز النيوترينوات الشمسية المفقودة.

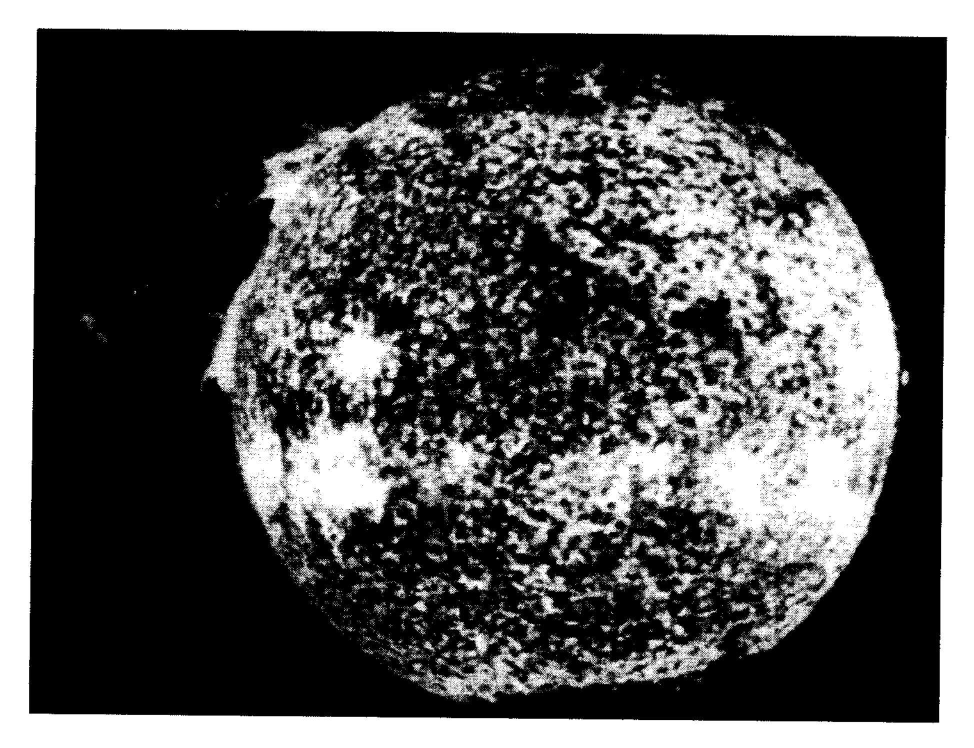
1.4 الشمس والأرض

الشمس أقربُ النجوم إلى الأرض؛ فهي تمدُّنا بالضوء والحرارة والطاقة اللازمة للحياة.

وقد ذهبت الشعوبُ القديمةُ إلى أن تتَّخذ من الشمس معبوداً لها باعتبارها آلهةً تَهَبُ الحياة، فأطلقوا على الشمسِ الآلهةِ أسماءً منها آتون Aton وأبولو Apollo وهليوس Helios وسول Sol. أما اليوم فيدرس العلماءُ الشمسَ كنجمٍ ذي أهمية كبرى للأرض، وكمفتاحٍ لإدراك كُنْهِ النجوم النائية التي يتعذَّرُ رصدها عن كثب.

إن الخَرْج الإجماليَّ لطاقة الشمس هائلٌ حقاً؛ فضيائيَّة الشمس Sun's luminosity (L⊙) تبلغ 10^{26} × 3,85 واط، وهي طاقةٌ لا تكاد تنضب على الزمان. حَسْبُكَ أن تعلم أن كمية الطاقة الشمسية التي تنسكب على الغلاف الجوّي الخارجي للأرض كلَّ ثانية تناهز 1400 واط/م2 (أي 126 واط/قدم2)، وتسمّى الثابت الشمسي solar constant، وأن هذه الكمية من الطاقة تتيح من الحرارة والضوء في غضون أسبوعٍ واحد ما قد يتيحه كاملُ ذخرِنا الاحتياطي المعلوم مجتَمِعاً من النفط والفحمِ والغاز الطبيعي.

وشمسُنا ديناميةٌ ومتأجِّجة (الشكل 1.4)، وهي ذات نشاط استثنائي مفرط حيناً وهادئ نسبيّاً حيناً آخر. ومن شأن هذه التغيُّرات في خرج الطاقة الشمسية أن تؤثِّر في مناخ الأرض وجوِّها وأحوال الطقس فيها، فضلاً على تأثيرها في منظومات نقل الطاقة ونُظُم الاتصالات الحديثة. ويَرصد العلماءُ هذه التغيُّرات ليتبيَّنوا ـ على وجه الدقة ـ كيف تؤثِّر الشمسُ في الأرض.



الشكل 1.4 الفعالية الشمسية. ألسنةُ لهب وشواظٌ عظيم قوسيّ الشكل، صُوِّرت براسم الطيف الشمسي فوق البنفسجي المرتبط بمختبر الفضاء الأمريكي Skylab في ضوءٍ من الهليوم المتأيِّن. لسانُ اللهب الهائل الذي يظهر في الجزء العلوي الأيسر من الصورة يمتد مسافةً تزيد على 588،000 كم على سطح الشمس.

اذكر ثلاثةً من الأسباب التي تدعو العلماءَ اليوم، فلكيِّين وفيزيائيّين ومهندسين، إلى استعمال أكثر التقنيات تطوُّراً في تحديد الطبيعة الحقيقية للشمس.

(1) ....

....

(2) ....

....

(3) ....

....

الجواب:

(1) الشمس مصدرٌ لا يكاد ينضب للطاقة الحالية والمستقبلية الكامنة، وهي إلى جانب ذلك مصدرٌ مجانيٌّ مرسَلٌ وخالصٌ من التلوُّث!

(2) الشمس هو النجم الوحيد القريب منّا نسبياً بما يكفي لرصده ودراسته بإسهاب، ولذلك يتَّخذه علماءُ الفلك إماماً لتعرُّف ماهية نجومٍ أخرى.

(3) تؤثِّر التغيُّرات التي تطرأ على خَرْج الطاقة الشمسية في مناخ الأرض وجوِّها وطقسها، وكذلك في منظومات نقل الطاقة والاتصالات.

2.4 بُعد الشمس وحجمها

يسمى متوسط البُعد بين الأرض والشمس في المصطلح العلمي الواحدة الفلكية astronomical unit (AU)، وهو يناهز 150 مليون كيلومتر (93 مليون ميل).

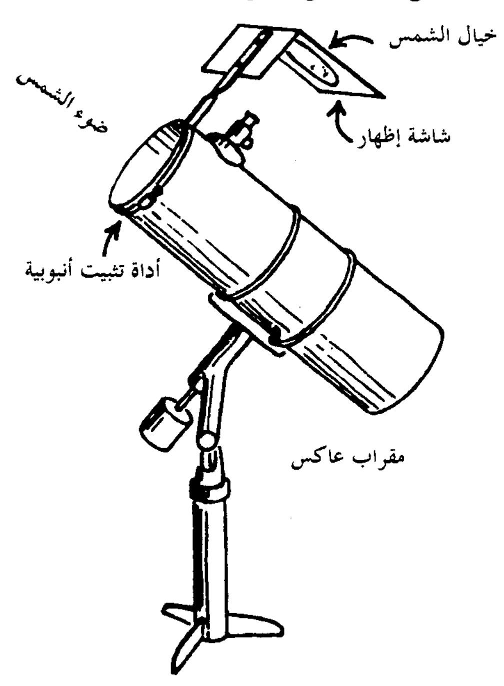
ويحسُب الفلكيون هذا البُعد من معطيات كوكبية توفّرها لهم تقنيات المدى الراداري. وهو يستعملون الواحدة الفلكية مقياساً للمسافات في المجموعة الشمسية (الجدول 1.8).

والشمس كرةٌ غازيةٌ هائلة، نرى طبقتها السطحيةَ في السماء. ويبلغ

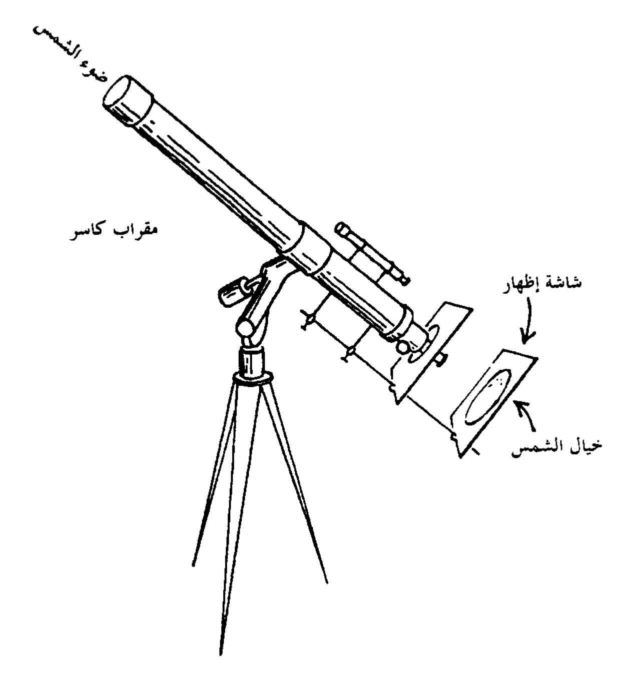
نصفُ قطرها (R⊙) radius نحو 696،000 كم (432،000 ميل). ومن الأرض يتوهَّم الناظرُ أن القطرَ الزاويَّ للشمس Sun's angular diameter وهو (32َ أو قرابة $\frac{1}{2}$°) يساوي قطرَ القمر بدراً. ويحدث هذا الانخداع البصري بسبب كون الشمس أبعد عن الأرض من القمر 400 مرة.

تنبيه: إن رصدك للشمس مباشرةً من غير اتخاذ الاحتياطات اللازمة قد يتسبَّب في فقدانك لبصرك طوال حياتك! فحذار أن تنظر إلى الشمس بصورة مباشرة، أو من خلال جهازٍ بصريٍّ ما لم يكن مزوَّداً بمرشِّحات شمسية خاصة تغطي كامل الفتحة حسب الأصول.

ومن الأساليب السليمة في رصد الشمس إسقاط خيالها على شاشة، والنظر إلى خيال الشمس فقط من على الشاشة (الشكلان 2.4 و 3.4).



الشكل 2.4 خيال الشمس بإسقاطه على شاشة إظهار تقع خلف عينيَّة مقرابِ عاكسٍ صغير. لتجنُّب النظر إلى الشمس في أثناء توجيه المقراب يُستعان بظلِّ المقراب على الشاشة كدليل.



الشكل 3.4 خيال الشمس بإسقاطه على شاشة إظهار تقع خلف عينيَّة مقرابٍ كاسرٍ صغير. لتجنُّب النظر إلى الشمس في أثناء توجيه المقراب يُستعان بظلِّ المقراب على الشاشة كدليل.

كم دقيقة تقريباً يستغرق ضوءُ الشمس لكي يقطع واحدةً فلكيةً واحدة؟ (استفد من أن المسافة = السرعة x الزمن)، ومن ثم الزمن = المسافة / السرعة).

الجواب: 8,3 دقائق تقريباً. (وهذا يعني أنه لو توقَّفت الشمسُ عن السطوع، لما علمتَ بذلك إلا بعد مرور 8,3 دقائق).

طريقة الحل: سرعة الضوء ≈ 300،000 كم/ ثا (186،000 ميل/ ثا)

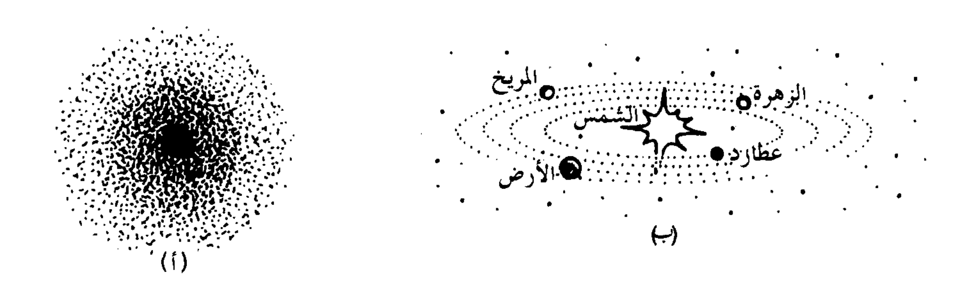
$$\frac{150{,}000{,}000 \text{ كم}}{300{,}000 \text{ كم/ ثا}} = \frac{93{,}000{,}000 \text{ ميل}}{186{,}000 \text{ ميل/ ثا}}$$

= 500 ثانية أو 8,3 دقائق

3.4 تركيب الشمس

تقول النظريةُ السَّديميةُ nebular theory، التي عَرَضَها أولاً الفيلسوفُ الألماني عمانويل كانْت Immanuel Kant (1724 ـ 1804)، إن الشمسَ وكواكبها قد تكوَّنت معاً من سحابة غازيّة وغبارية بَيْنجميَّة دوّارة تسمّى السَّديم الشمسي solar nebula منذ نحو خمسة مليارات سنة خلت.

تكثَّفَ السديمُ الشمسيُّ متحوِّلاً إلى الشمس الفتيّة التي يكتنفها قرصٌ دوّارٌ من الغاز والغبار، تولَّدتْ عنه الكواكبُ والأقمارُ وسائر أجرام المنظومة الشمسية (الشكل 4.4). وتستأثر الشمسُ بأكثر من 99 في المئة من كتلة المنظومة الشمسية، وتوفِّر القوةَ التثاقلية التي تبقي على الكواكب طوّافةً من حولها، إذ تزيد ثقالتُها السطحيةُ على ثقالة الأرض نحواً من 28 ضعفاً.



الشكل 4.4 نظرية السديم الشمسي. (أ) سديمٌ دوّار تكثَّفَ فتحوَّل إلى الشمس يحيط بها قرصٌ متقلِّص. (ب) ولادة المنظومة الكوكبية.

يُعرَف اليومَ أكثرُ من 70 عنصراً كيميائياً chemical elements في طيف الشمس. ويُرجَّح أن لطبقات الشمس الخارجية التركيبَ الكيميائيَّ نفسَه الذي كان لها عند ولادتها، وهو: 73 في المئة هيدروجين، و25 في المئة هليوم، و2 في المئة عناصر أخرى (وزناً). وأغلب الظن أن محتوى لبّ الشمس من الهليوم قد تغيَّر فيما بعدُ ليصبح 38 في المئة، وذلك بفعل تفاعلات اندماجٍ نوويّ.

مالذي يدعو علماءَ الفلك إلى الاعتقاد بوجود نجومٍ أخرى تدور حولها كواكب؟ ....

....

....

الجواب: وفقاً للنظرية السديمية، وُلدت الكواكبُ الطوّافةُ حول الشمس مع نجمها في وقت واحد. ولما كانت الشمسُ نجماً نموذجياً، فمن المحتمل أن نجوماً أخرى مشابهة قد وُلدت أيضاً في وقت واحد مع مجموعة من الكواكب.

4.4 بنية الشمس

إن تصوُّرنا لبنية الشمس ناشئٌ عن أرصاد مباشِرة لطبقاتها الخارجية، إضافةً إلى حساباتٍ نظرية غير مباشِرة لسلوك الغازات في أعماقها، ذلك الذي لا نستطيع أن نراه.

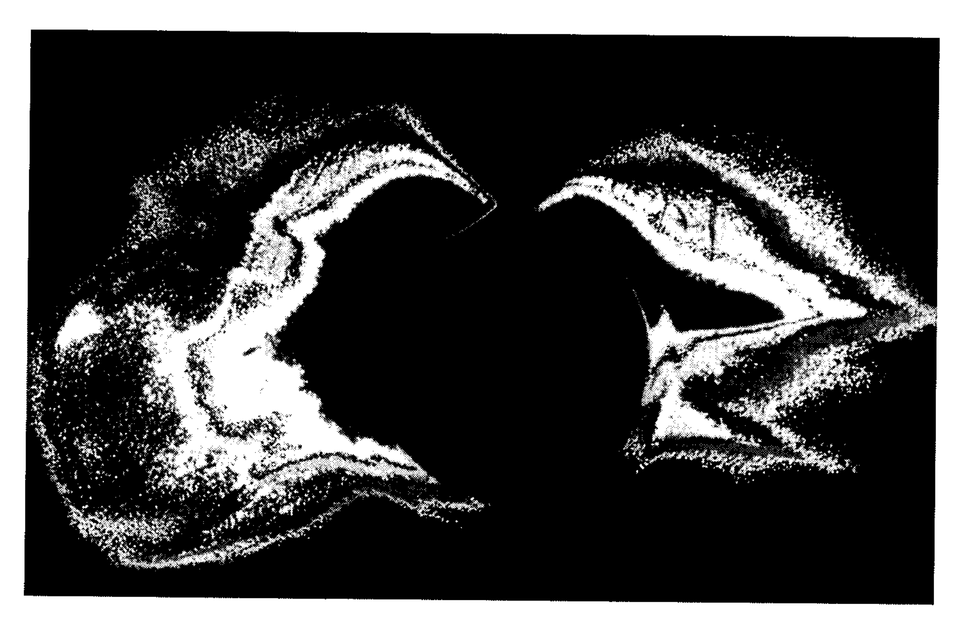
تؤلِّف الطبقاتُ الخارجيةُ الثلاثُ الغلافَ الجويَّ atmosphere للشمس.

فالغلاف الضوئي photosphere (من تعبير يوناني معناه «كرة الضوء») هو السطح المرئيُّ للشمس: طبقةٌ رقيقةٌ كامدةٌ من غازٍ حارٍّ تبلغ درجة حرارته 5800 كلڤن (10،000° فارنهايتية) تنطلق الطاقةُ منها في الفضاء. أما الحافَة limb فهي الطرفُ المرئي من قرص الشمس، وتبدو أكثر دكنةً من المركز، وهي ظاهرة تسمّى مفعول الحافة القاتمة limb darkening، لأن الضوء الآتي من الحافة ينشأ عن مناطقَ عالية وباردة من الغلاف الضوئي.

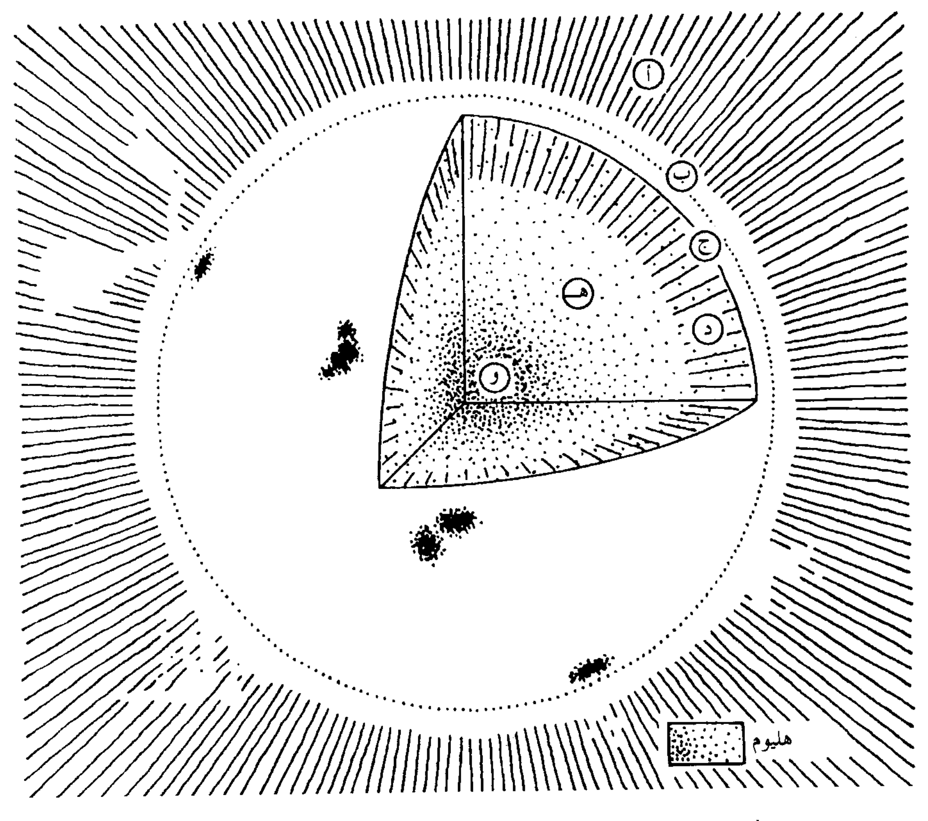
أما الغلاف اللوني chromosphere (يونانية تعني «كرة اللون») فهو طبقةٌ شفافةٌ رقيقةٌ تمتد زهاء 10،000 كيلومتر (6000 ميل) فوق الغلاف الضوئي، ولا تكون مرئيةً في العادة من الأرض إلا في أثناء كسوف كلّيٍّ للشمس،

عندما تتوهَّج بلون أحمر بسبب غاز الهيدروجين فيها. يجدر بالذكر أن درجة الحرارة ترتفع ارتفاعاً غير متوقَّع نحو الخارج عبر الغلاف اللوني، إذ يبلغ وسطي درجة حرارة المادة فيه قرابة 15،000 كلفن.

وأما الإكليل corona (كلمةٌ لاتينية بهذا المعنى) فهو الطبقةُ الخارجية من الغلاف الجوي الشمسي، فوق الغلاف اللوني مباشرة، ويتألف من غاز حارٍّ ومتخلخل يمتد في الفضاء ملايين الكيلومترات. وبسببٍ من درجة حرارتها العالية - التي تصل إلى مليونَيْ كلفن عند الحافة الشمسية - يبدو الإكليلُ ساطعاً عند الأطوال الموجيَّة السينيّة. ويُرى بجلاء تامٍّ، في أثناء حوادث الكسوف الكلّي، على شكل هالةٍ بيضاءَ مثلَّمةٍ تحيط بالغلاف الضوئي المستتر مدةً وجيزة (الشكل 5.4).



الشكل 5.4 يمتد الإكليلُ الشمسي نحو الخارج ملايين الكيلومترات في هذه الصورة التي التقطها راسم الإكليل الشمسي الملحق بمختبر الفضاء الأمريكي (سكاي لاب)، في أثناء حادثة كسوفٍ كلّي. (طوِّعت الصورُ لإظهار مستويات السطوع).



الشكل 6.4 مناطق الشمس.

وفي ما تحت الغلاف الضوئي يقع باطن الشمس interior. ويقدِّر العلماءُ النظريّون أن درجةَ الحرارة ترتفع والكثافةَ تزداد من السطح باتجاه الداخل، فليس من العناصر المعروفة ما يمكنه البقاء صلباً أو سائلاً في درجات الحرارة الشمسية المفرطة. من هنا فلا بدَّ من أن تكون الشمسُ برمَّتها مؤلَّفةً من غازات حارّة جداً.

ترتفع درجةُ الحرارة في أعماق جوف الشمس إلى 15 مليون كلڤن، ويرتفع الضغطُ هناك إلى 200 مليار وحدة ضغط جوّي، والكثافة إلى ما

يتجاوز كثافة الماء مئة مرة أو يزيد. ويُعَدُّ اللبّ core بمنْزلة «محطة» لتوليد الطاقة، حيث تتولَّد الطاقةُ الشمسية نتيجةً لتفاعلات الاندماج النووي (الفقرة 5.5). وهناك يتحوّل الهيدروجين إلى هليوم.

هذه الطاقةُ الشديدةُ المتحرِّرة في لبِّ الشمس توفِّر الحرارةَ في باطنها، والضغطَ الكافي لموازنة قوةِ الجذب الثقالي الداخلية، وهي تنتقل ببطءٍ نحو الخارج. ويجري امتصاص الفوتونات وإصدارها من جديد مرةً بعد مرة عند مستويات طاقةٍ منخفضة داخل ما يسمى بمنطقة الإشعاع radiation zone المتراصّة.

ومن هناك، تقوم تياراتٌ غازيةٌ دوّارةٌ في منطقة الحَمْل convection zone بنقل معظم الطاقة على شكل حرارة إلى الطبقات الخارجية. ينقضي نحو 20 مليون عام قبل أن يتمَّ انتقالُ الطاقةِ المتولِّدةِ في اللبّ إلى السطح، لتتحوَّل إلى أشعة شمسية.

سَمِّ مناطقَ الشمسِ الموسومةَ بحروف على الشكل 6.4.

(أ) .... ؛ (ب) .... ؛ (ج) .... ؛ (د) .... ؛

(هـ) .... ؛ (و) ....

الجواب: (أ) الإكليل؛ (ب) الغلاف اللوني؛ (ج) الغلاف الضوئي؛

(د) منطقة الحمل؛ (هـ) منطقة الإشعاع؛ (و) اللُّبّ.

5.4 دوران الشمس

الشمسُ دائبةُ الدوران حول محورها في الفضاء، من الغرب إلى الشرق، تماماً كما الأرض. إلا أن ثمة فرقاً: فالأرض كلُّها ـ وحدة متكاملة ـ تُتِمُّ دورةً كاملةً في مدة يوم، على حين لا تدور الشمسُ كلُّها كوحدة متكاملة بمعدَّل سرعة واحد.

فالدَّوْر المحوريّ period of rotation، أو المدة اللازمة لأداء دورة

كاملة، هو أسرع ما يكون عند خط استواء الشمس (يستغرق نحو 25 يوماً)، ويتباطأ عند خطوط العرض المتوسطة، وهو أبطأ ما يكون عند القطبين (زهاء 35 يوماً). إن نموذجَ الدوران الغريب هذا يؤثر ـ على الأغلب ـ في الفعالية العنيفة التي تحدث في الشمس، والتي سنتناولها بالدرس في سياق الفقرات التالية.

كيف يمكن لأجزاء مختلفة من الشمس أن تدور بمعدَّلات سرعة مختلفة، مقابل الأرض التي تنجز ـ بكاملها ـ دورةً تامةً في يومٍ واحد؟

....

الجواب: الشمس كرةٌ غازية لا كتلةٌ صلبةٌ مصمتة كالأرض.

6 . 4 معطيات

لَخِّص ما اجتمع لديك من معطيات تتَّصل بخصائص الشمس، عن طريق مَلْء الجدول المرجعيّ 4 . 1.

الجواب:

(أ) 150 مليون كم (93 مليون ميل) تقريباً؛ (ب) 32′؛

(ج) 1،390،000 كم (864،000 ميل)؛ (د) 2×10^{30} كغ؛

(هـ) 1,4 غ/سم3؛ (و) 1400 واط/م2 (126 واط/قدم2)؛

(ز) 3.85×10^{26} واط؛ (ح) زهاء 5800 كلفن؛ (ط) G2؛ (ي) 26,72 ـ ؛

(ك) 4,8؛ (ل) خط الاستواء: 25 يوماً تقريباً، القطبان: 35 يوماً تقريباً؛ (م) الطبقات الخارجية: نحو 73 في المئة هيدروجين، 25 في المئة هليوم و 2 في المئة أكثر من 70 عنصراً آخر وزناً؛

(ن) 28 مرة ثقالة الأرض السطحية أو 294 م/ثا^2

الجدول 1.4 خصائص الشمس

المقدار	طريقة القياس	القيمة
(أ) متوسط بُعدها عن الأرض	المدى الراداري للكواكب	....
(ب) قطرها الزاويّ في السماء	مقراب شمسي	....
(ج) قطرها	القطر الزاوي والبُعد	....
(د) كتلتها	الحركات المدارية للكواكب	....
(هـ) معدَّل كثافتها	الكتلة والحجم	....
(و) الثابت الشمسي (الطاقة الشمسية الواردة إلى الأرض)	طائرة على ارتفاعٍ شاهق	....
(ز) ضيائيتها	الثابت الشمسي والبُعد عن الأرض	....
(ح) درجة حرارتها السطحية	الضيائية ونصف القطر	....
(ط) صنفها الطيفي	راسم الطيف	....
(ي) قَدْرها الظاهري	مقياس الضوء	....
(ك) قَدْرها المطلق	القَدْر الظاهري والبُعد عن الأرض	....
(ل) دور دورانها	حركات البقع الشمسية؛ انزياح دوبلر	....
(م) التركيب الكيميائي لطبقاتها الخارجية	طيف الامتصاص الشمسي	....
(ن) ثقالتها السطحية	الكتلة ونصف القطر	....

7.4 رصد الشمس

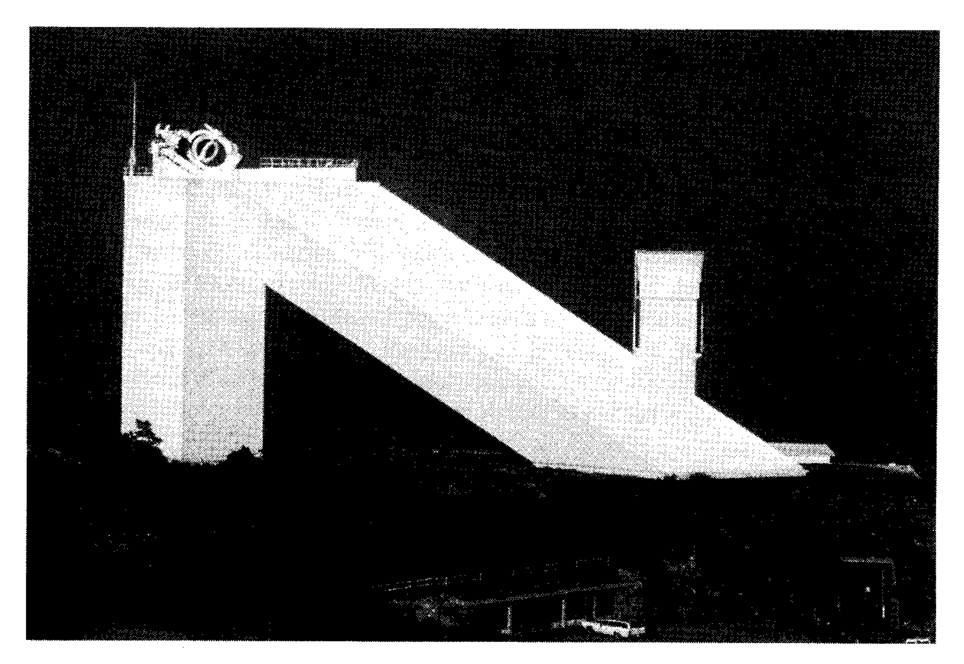
يستعين الفلكيون اليومَ بأجهزة وتقنيات متطوِّرة لرصد الشمس عن كثب وبصورةٍ أكثر تفصيلاً من أي وقت مضى.

فعلى الأرض، تقوم مقاريب شمسيةٌ بصرية optical solar telescopes بتصوير السطح المرئي للشمس، بكل معالمه المتغيِّرة، فوتوغرافياً (الشكل 7.4). وهناك مجموعات (صفيفات) من المقاريب الراديوية radio telescopes العملاقة تَستقبل وتسجِّل الأمواجَ الراديوية من مختلف أجزاء الشمس. كذلك تَرصد المقاريبُ تحت الحمراء infrared telescopes الحافةَ الشمسيّةَ وتمثِّل البقعَ الشمسية.

وتُصَوَّر الشمسُ بالمرشِّحات اللونيّة وراسمات الطيف الشمسي spectroheliographs في ضوء مؤلَّف أساساً من طول موجيّ وحيد. والصُّوَرُ الطيفيةُ الشمسية spectroheliograms هي صُوَرٌ تُلتَقَط للشمس في ضوءٍ وحيد اللون ينتمي إلى غازٍ واحد كالهيدروجين أو الكالسيوم، وهي تُظهِر توزُّعَ الغازات المختلفة والظواهرَ الموضعية (الشكل 8.4).

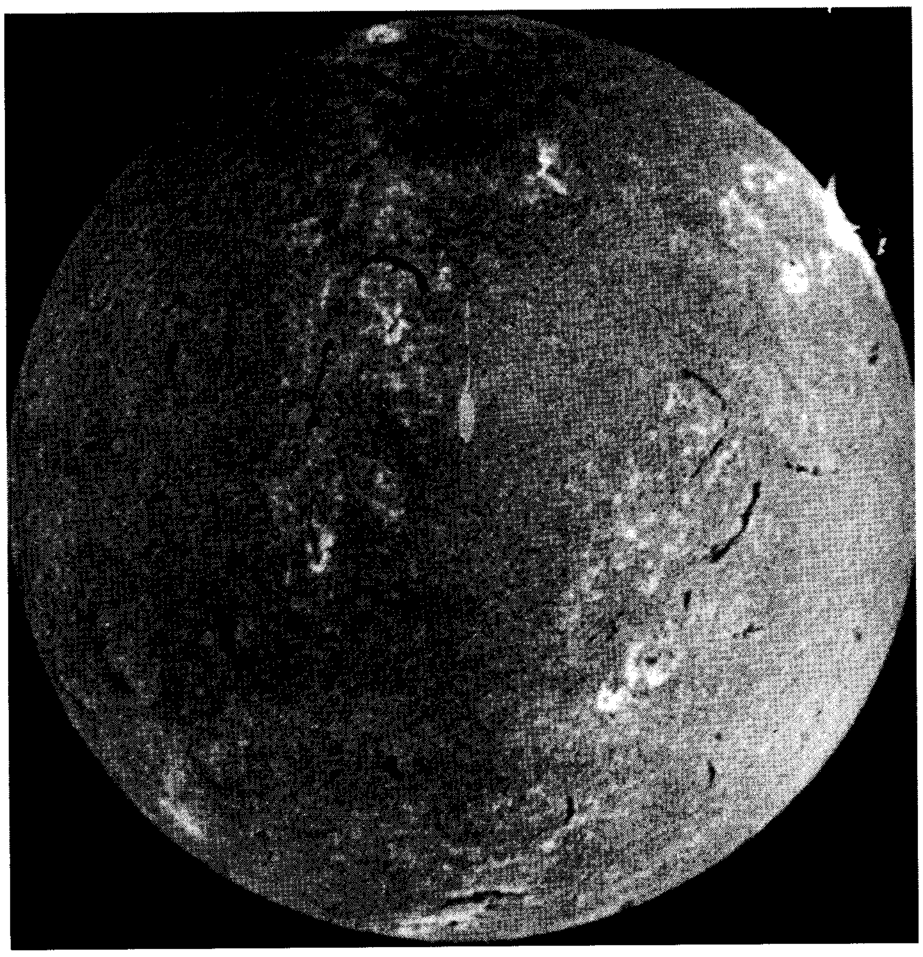
وفي الفضاء، تقوم الأجهزةُ الرصدية بمراقبة الشمس في أقسام الطيف الكهرطيسي كافةً، بغية الكشف عن سماتٍ شمسية، ومظاهرِ إشعاع، وجسيماتٍ، وحقولٍ يحجبها الغلافُ الجوّيُّ الأرضي في العادة. هذا على حين تَلتقط المقاريبُ فوق البنفسجية ultraviolet telescopes ، والمقاريبُ السِّينيَّة X-ray telescopes ، ومقاريبُ أشعة غاما gamma ray telescopes - وجميعها تعمل من على متن مركبات فضائية - صُوَراً لعملياتٍ طبيعية تجري في أشدّ مناطق الشمس حرارةً ونشاطاً.

لم يكن بالمستطاع فيما مضى رصدُ إكليل الشمس وغلافها اللوني رصداً مباشراً إلا في غضون بضع دقائق هي مدة حادثة كسوف كلّي، عندما





الشكل 7.4 (أ) مقراب R. R. McMath-Pierce الشمسي البصري بقطر 1,5 متر في كِتْ پيك. تعكِس مرآةٌ في الأعلى ضياءَ الشمس خلالَ أنبوبِ طويلٍ منحدِر وصولاً إلى (ب) غرفة أنشئت في الجبل حيث يُجري علماءُ الفلكِ دراساتهم على صورة الشمس المنعكسة.



الشكل 8.4 صورة للشمس يبدو فيها لسان لهب كبيرٌ على الحافَة الشرقية، التُقطت في ضوء خطٍّ طيفيّ للهيدروجين عند الطول الموجيّ 6563 أنغستروم.

يكون الغلافُ الضوئي، الذي هو أكثر سطوعاً، محجوباً. لكن علماء الفلك اليوم غير مضطرين أبداً للانتظار حتى حدوث واحدة من تلك الظواهر الطبيعية النادرة كيما يتمكنوا من إجراء رصْد من هذا النوع؛ فهم يستعملون لتصوير إكليل الشمس فوتوغرافياً ما يسمى راسم الإكليل الشمسي cronograph، وهو مقرابٌ مصمَّم لابتداع كسوفٍ زائف، يُستعمل على الأرض وفي الفضاء على حدٍّ سواء.

ما بين سنتي 1973 و 1974 تزوَّدَ روّادُ الفضاء بمجموعة مؤلَّفة من ثمانية مقاريب شمسية على متن محطة الفضاء الأمريكية سكاي لاب الطوّافة على ارتفاع 430 كم (270 ميلاً) فوق الأرض، فرصدوا الشمسَ رصداً شاملاً في أطوالٍ موجيَّة مرئيّة وسينيّة. وقد أتاح المقرابُ راسمُ الإكليل الشمسي المرتبطُ بالمحطة رصْدَ الإكليل مدةَ ثمانية أشهرٍ ونصف الشهر، مقارنةً بما لا يزيد على ثمانين ساعةً إجماليةً هي حصيلةُ مُدَدِ الرصد من مجموع حوادث الكسوف الطبيعية كلِّها منذ بدء استعمال التصوير الفوتوغرافي سنة 1839.

ودُرِسَت الاندفاعاتُ الشمسيةُ العنيفة في إطار المشروع الدولي حول السطوع الشمسي الأعظمي (1980-1981) International Solar Maximum. وفي سنة 1985 استَكمَلَ الساتلُ الرَّبوطي الأمريكي المسمّى Solar Maximum Mission (SMM) أرصاداً بصريةً وفوق بنفسجية وسينيةً وغاميّةً غايةً في الأهمية تتعلق بألسنة اللهب الشمسي. وكان ذلك أول ساتل يقوم روّادُ الفضاء بإصلاحه في الفضاء. ولا جَرَم أن يحتاج الخبراءُ إلى سنوات لتحليل فيض معطيات الأرصاد الشمسية التي أجرتها منظوماتٌ متمركزةٌ في الفضاء.

ثم قامت مركبةُ الفضاء الرَّبوطية الأوروبية ـ الأمريكية المشتركة يوليسيز Ulysses برصد المناطق القطبية من الشمس، وحقولها المغنطيسية، ودفقات الإشعاع والجسيمات فيها، والبيئة في كل خطوط العرض الممكنة فيها. وكان ذلك بين سنتي 1994 و1998. ويُنتظَر أن تحلِّق يوليسيز ـ في رحلتها الثانية التي ستستغرق ستَّ سنوات ـ فوق قطبَي الشمس في أوقات تكون فيها الفاعليةُ الشمسيةُ أعظميةً.

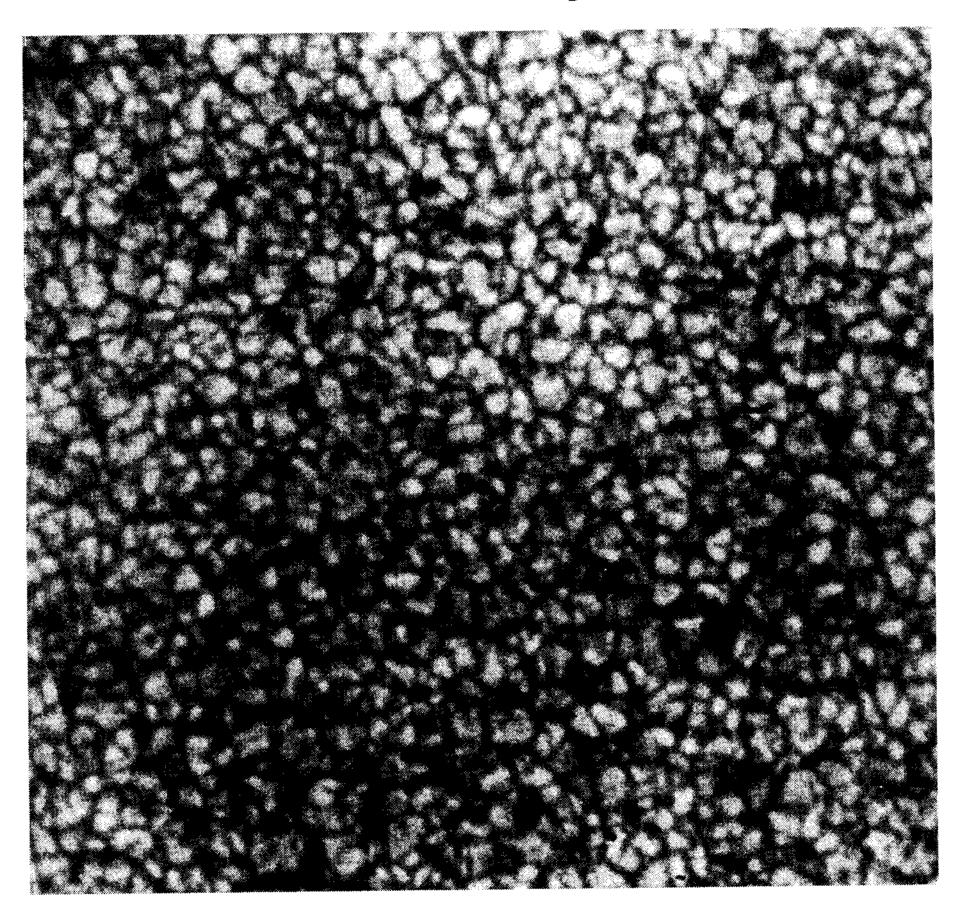
لماذا تظهر معالم مختلفةٌ للشمس في صُوَرٍ ملتقَطة في ضوء أطوالٍ موجيّة مختلفة كالضوء المرئي أو الأشعة فوق البنفسجية أو الأشعة السينيّة؟ (راجع الفقرة 10.2 عند الحاجة) ....

....

الجواب: تتفاوت الأطوالُ الموجيَّة المتولِّدة باختلاف درجات حرارة المناطق الشمسية، حيث تسود أحوالٌ وفعالياتٌ مختلفة.

8.4 سطحٌ متأجِّج

تبدي المقاريبُ البصرية مظهراً حُبَيْبيّاً للغلاف الضوئي من الشمس يسمّى التحبُّب granulation، إذ توشّي قرصَ الشمس بقعٌ ساطعةٌ، تسمّى الحُبَيْبات granules، شبيهةٌ بحبّات الأرُزّ، ولا سيما في الصُّوَر العالية المَيْز high-resolution images (الشكل 9.4).



الشكل 9.4 الحُبَيبات الشمسية.

والحَبَيْبات ـ التي هي خلايا قد يصل قطرها إلى 1000 كيلومتر (625 ميل) ـ هي في الواقع ذُرى تيارات متصعِّدة من غازات حارّة ناشئة عن منطقة الحمل. تدوم الحبيبات كلٌّ منها خمسَ دقائق في المتوسط، وتبدو أكثرَ سطوعاً من المساحات المعتمة المجاورة لها لأنها أشدُّ حرارةً بنحو 300 مرة. هذه المساحاتُ المعتمة هي تياراتٌ هابطةٌ من غازات أقلَّ سخونة.

تنتمي الحَبَيْباتُ إلى ما يسمى الحَبَيْبات الفائقة supergranules، وهي خلايا حَمْل convection cells قد يبلغ قطرها 300،000 كيلومتر (19،000 ميل) على قرص الشمس. تدوم الحبيباتُ الفائقة عدة ساعات، وتتميَّز بتدفُّق الغازات من مراكزها إلى أطرافها، إضافة إلى التيارات الغازية الشاقولية في الحبَيْبات.

وهناك ما يسمى اللُّسَيْنات الشمسية spicules، وهي نفثاتٌ من الغاز ربما يصل ارتفاعها إلى 10،000 كيلومتر (6000 ميل)، وقطرها إلى 1000 كيلومتر (600 ميل) تتصاعد كألسنة نارية داخل الغلاف اللوني حول أطراف الحبيبات الفائقة، على أنها سريعة التغيُّر، وتدوم من 5 إلى 15 دقيقة.

وقد تُرصَد قرب حافة الشمس رُقَعٌ سطحيةٌ بيضاء ساطعة تسمى الصَّياخِد faculae [واحدها: الصَّيْخَد]، والكلمة اللاتينية تعني: «المشاعل الصغيرة». وظهورها يؤْذِن باقتراب حدوث فعالية شمسية.

ما الذي يسبِّب التحبُّب؟ ....

الجواب: الغازات المتصاعدة من باطن الشمس الحارّ.

9.4 البُقَعُ الشَّمسية (الكَلَف)

البقع الشمسية sunspots لطخ قاتمة غير دائمة، باردة نسبياً على الغلاف الضوئي الساطع للشمس. وهي تَظهر عادةً في مجموعات مؤلَّفة من بقعتين

أو أكثر. وتدوم من بضع ساعات إلى بضعة أشهر قبل أن تزول.

يُرى أكبر البُقع الشمسية عند بزوغ الشمس أو عند أفولها أو من خلال جوٍّ سديمي. وقد سُجِّلَتْ أولُ أرصاد للبقع في الصين قبل سنة 800 قبل الميلاد.

يبلغ حجمُ البقعة الشمسية الاعتيادية حجمَ الأرض، وقد يفوق حجمُ أكبرِها حجمَ الأرض عشرَ مرات.

وتضيء البقعُ الشمسية بدرجة سطوع تفوق سطوعَ كثيرٍ من النجوم الباردة نسبياً، مع أنها تبدو قاتمةً قياساً إلى الغلاف الضوئي المحيط الباهر والحارّ. تبلغ درجةُ الحرارة فيما يسمى الظِّل umbra (أو اللُّب) قرابة 4200 كلڤن. أما في الظُّلَيْل penumbra (أو الجزء الخارجي الرمادي اللون من بقعة كبيرة) فهي أدنى من حرارة الغلاف الجوي ببضع مئات الدرجات.

وكثيراً ما تظهر البقعُ الشمسيةُ في مجموعات، أو مناطق شمسية نَشِطة solar active تحدث فيها أعنف الفعاليات الشمسية. وقد كانت للأرصاد المقرابية الأولى، التي أجراها غاليليو سنة 1610 للبقع وحركاتها، أثرٌ مهمٌّ من الناحية العلمية (الفقرة 7.8)؛ فقد تبيَّن أن غاليليو قد أصاب في ما خلص إليه من أن دوران الشمس ينقل مكان البقع الشمسية.

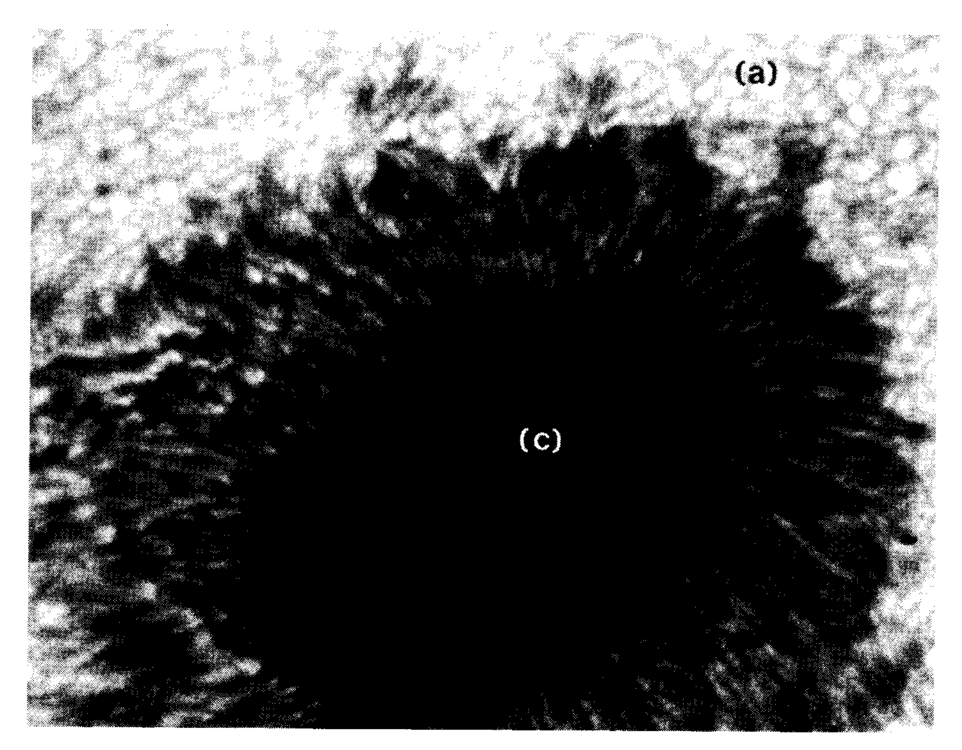
عيِّن مواقع الظِّل، والظُّلَيْل، والغلاف الضوئي، الموسومة بأحرف على الشكل 10.4. كم تبلغ درجةُ الحرارة التقريبية للظل؟

(أ) ....؛

(ب) ....؛

(ج) ....

الجواب: (أ) الغلاف الضوئي؛ (ب) الظُّلَيْل؛ (ج) الظل، 4200 كلڤن.



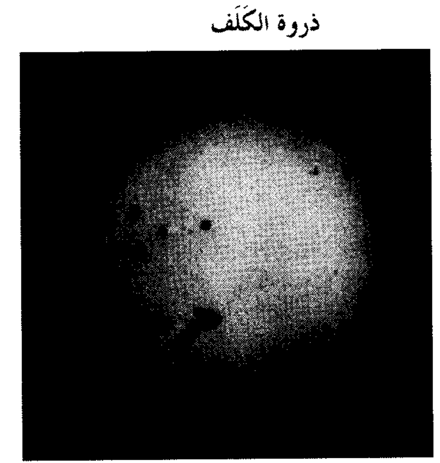
الشكل 4.10 الظِّلُّ والظُّلَيْل في بقعة شمسية. لاحِظ التحبُّبَ في الغلاف الضوئي المحيط.

4.10 دورات الفعالية الشمسية

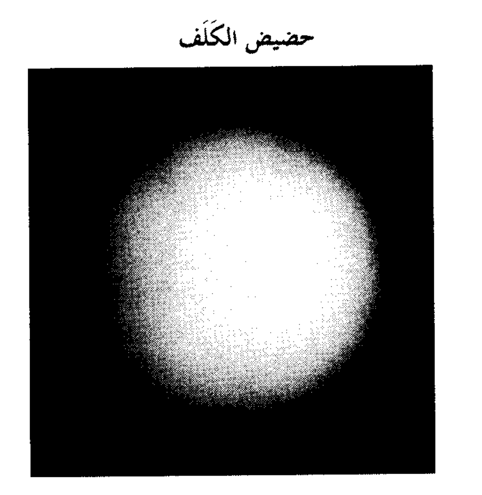
قد يظهر في وقت ما أكثر من 300 بقعة على قرص الشمس دفعةً واحدة، وقد لا يظهر منها شيءٌ على الإطلاق. يرتفعُ عددُ البقع بانتظام إلى حدٍّ أعظمي وينخفض إلى حدٍّ أدنى في دورةٍ أمدها نحو 11 سنة، تسمى دورة الكَلَف الشمسي sunspot cycle.

ودورة الكلف هذه في حدِّ ذاتها من مظاهر دورة الفعالية الشمسية solar activity cycle، وتحظى بمراقبةٍ دقيقة من الأرض (الشكل 4.11). تبقى الشمسُ في أعلى درجات فعاليتها على مدى قرابة أربع سنوات تكون فيها أعظمُ اندفاعات الطاقة والإشعاع على أشدّها. وفي غضون هذه المدة يبلغ

ذروة الكَلَف



حضيض الكَلَف



الشكل 11.4 صورة فوتوغرافية بالضوء الأبيض للشمس في مرحلتين مختلفتين من دورة فعاليتها.

عددُ الكلف قيمةً عظمى، وهو ما يسمى ذروة الكَلَف sunspot maximum.

ويشار هنا إلى أن أقرب الفعاليات القياسية عهداً حدثت سنة 2000 عندما ارتفع عدد الكُلُف الشمسية ارتفاعاً كبيراً. وتكون الشمسُ أدنى ما يمكن فاعليةً على مدى السنوات التي يكون فيها الكَلَف عند حدِّه الأدنى، وهو ما يسمى حضيض الكَلَف sunspot minimum.

هذا ولا يستطيعُ علماءُ الفلك التنبُّؤَ بقرب حدوث فعالية شمسيّة، غير أنهم يسعَوْن إلى فهم دورة الفعالية الشمسية فهماً عميقاً يمكِّنهم من إطلاق تنبُّؤات سديدة.

لماذا كان من المهم متابعة تطوُّر دورة الكَلَف الشمسي؟ ....

....

....

الجواب: تكون الشمسُ في فاعليةٍ عظمى في غضون سنواتِ ذروةِ الكَلَف، فتسكب أعظمَ كمية من الطاقة والإشعاع في محيط الأرض.

11.4 المغنطيسية

تُشَبَّهُ البقعُ الشمسيةُ بمغانط هائلة. وهي مناطق من الحقول المغنطيسية القوية التي تفوق في قوّتها الحقلَ المغنطيسيَّ للأرض آلافَ المرات.

ويمكن كشف الحقل المغنطيسيِّ لبقعة شمسية قبل رؤية البقعة نفسها وبعد زوالها. من هنا فإن من المحتمل أنَّ الحقولَ المغنطيسية تحدِّد الأحوالَ الموضعية على الشمس وتتحكَّم فيها. يحلِّل علماءُ الفلك الحقولَ المغنطيسيّة عن طريق قياس انشطار خطّ زيمان الطَّيفي (الفقرة 10.3).

ثمة حقلٌ مغنطيسيٌّ آخر أضعف ينتشر فوق الشمس بكاملها، وهو ذو قطبَيْن مغنطيسيَّين: شماليٍّ وجنوبيّ، يميل المحور المغنطيسي فيه بمقدار 15° بالنسبة إلى محور الدوران. وهذا الحقلُ منشطرٌ إلى نصفَيْ كرة. يسمّى مظهارُ display قوةِ الحقل المغنطيسي راسِمَ المغنطيسية magnetograph.

ينتشر الحقلُ المغنطيسيُّ للشمس على الأرجح من نصف كرتها الشمالي ممتداً عبرَ المنظومة الشمسية، وصولاً إلى كوكب بلوتو، نحواً من 6 مليارات كيلومتر (4 مليارات ميل). وما إن يقترب من حافة المنظومة الشمسية حتى ينعطف عائداً إلى نصف الكرة الجنوبي للشمس.

إلا أن الحقلَ المغنطيسيَّ الشمسيَّ المعقَّد يتولَّد بفعل الحركات الدورانية rotational والحَمْلية convective للجسيمات المشحونة كهربائياً، التي تؤلِّف غازاتِ الشمسِ الحارَّةَ. ومن شأنه فيما يبدو تنشيط الاندفاعات الدفقية العنيفة للمادة والإشعاع على الشمس، وتفعيلُها والتحكُّم فيها.

تنعكس قطبيَّةُ polarity الحقل المغنطيسي للشمس كلَّ 11 سنة تقريباً، بُعَيْد أوان ذروة الكَلَف. ويتطلَّب الأمرُ دورتَيْ كَلَف متتابعتين مدةُ كلٍّ منهما زهاء 11 سنة ليتمكن قطبا الشمس المغنطيسيّان، وكذلك القطبيةُ المغنطيسيّةُ للكلف، من تكرار سيرتهما. واستناداً إلى ذلك فإن دورةَ الفعالية الشمسية

تستغرق 22 سنة عند احتساب طول المدة اللازمة للشمس كي تعود إلى وضعها الأصلي.

ما الذي يرجَّح أنه يذكي الاندفاعاتِ الدفقيَّةَ العنيفةَ للمادة، التي تحدث على الشمس؟ ....

الجواب: حقولٌ مغنطيسية قويةٌ جداً في مواقع البقع الشمسية.

لمعاينة الحقل المغنطيسي بنفسك ضع مغنطيساً تحت قطعة من الورق، وانثر شيئاً من برادة الحديد برفق على سطحها العلوي تَرَ أن البرادة قد انتظمت وفقاً لقوة الحقل المغنطيسيّ. وبإظهارها المناطقَ التي تمثِّل القوةَ المغنطيسيّة فهي تجعل الحقل مرئياً لك.

ما الذي يرجَّح أنه يحني مسارَ الغازِ الملفوظ في ألسنة اللَّهب الشمسية ويتحكّم فيه؟ ....

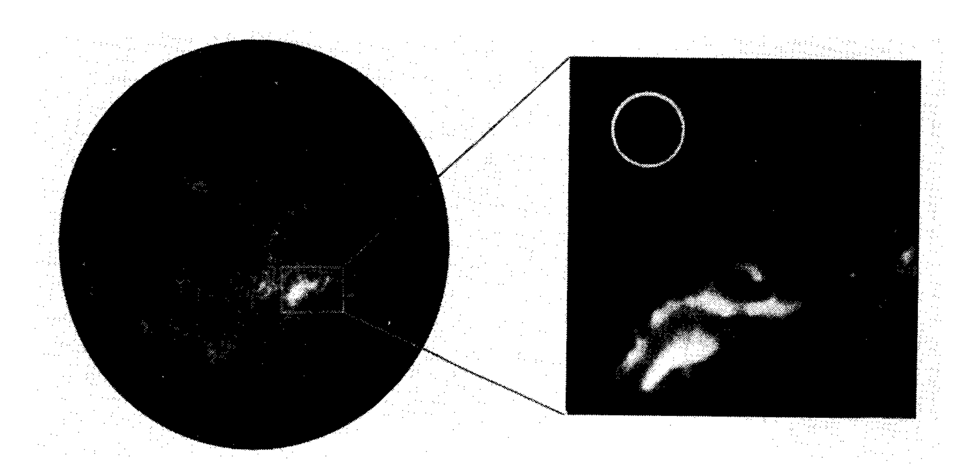
الجواب: حقولٌ مغنطيسية قويةٌ على مقربة من البقع الشمسية.

12.4 ألسنة اللهب والشُّواظ

لسان اللَّهب الشمسي solar flare دفقٌ انفجاريٌّ هائلٌ ومفاجئ من الضوء، والإشعاع غير المرئي، والمادة، ينبعث من الشمس. ولتمثيل عِظَمه نقول إن لسانَ لهبٍ كبيراً واحداً قد يحرِّر من الطاقة كميةً تعادل ما يستهلكه العالَمُ بأسره في مدة 100،000 سنة (الشكل 12.4).

لكن ألسنةَ اللهب قصيرةُ الأجل، فهي تدوم عادةً بضعَ دقائق، مع أن أكبرها قد يدوم بضعَ ساعات. وهي تحدث بالقرب من البقع الشمسية، ولاسيما في أوقات ذروة الكَلَف. ويبدو أن ألسنةَ اللهب تذكيها الحقولُ المغنطيسيّةُ الموضعية القوية (الشكل 13.4).

يَحدث لسانُ اللهب عادةً عقب أكثر الاندفاعات الشمسية نشاطاً وفاعليةً



الشكل 12.4 صورة للسان لهبٍ شمسي بقطر 300،000 كيلومتر (180،000 ميل) يغطي أكثر من 5,2 مليارات كيلومتر مربَّع (2 مليارا ميل مربع) من سطح الشمس، التُقطت بالساتل الرَّبوطي الأمريكي SMM. الصورة الداخلية الصغيرة ـ المكبرة 20 مرة إلى اليمين ـ تُظهِر إصداراً فوق بنفسجي من اللسان. النقطة السوداء تمثِّل حجم الأرض للمقارنة.

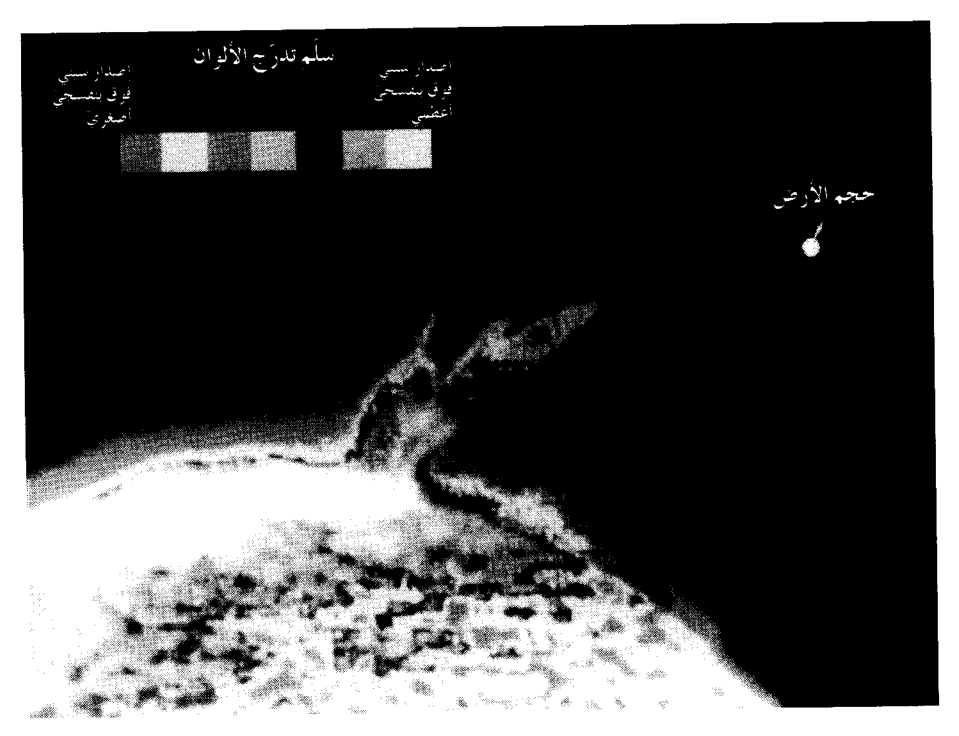
على الإطلاق، وهو اللفظ الإكليلي الشامل coronal mass ejection، الذي يقذف بالبلازما من الإكليل نحو الخارج. وقد يكون اللفظُ الإكليلي مصحوباً بما يُعرَف بالشواظ الشمسي prominence، وهو قوسٌ ناريَّةٌ من الغازات المتأيِّنة على حافَة الشمس، ترتفع عشرات آلاف الكيلومترات في جوّ السماء (الشكل 4.1).

ما الذي يترجَّح أنه يحني مسارَ الغازات الملفوظة في ألسنة اللهب والشواظِ الشمسي؟ ....

الجواب: حقولٌ مغنطيسيةٌ قوية على مقربة من البقع الشمسية.

13.4 كيف تؤثر ألسنةُ اللهب الشمسية في الأرض

يمكن أن يقذف لسانُ لهبٍ ضخمٌ كمياتٍ لا تكاد تصدَّق من الإشعاع



الشكل 13.4 صورةٌ بالأشعة السينية وفوق البنفسجية للسان لهبٍ شمسي، طُوِّعت لتلحظ مستويات السطوع. النقطة البيضاء تمثِّل الأرض للمقارنة الحجمية.

العالي الطاقة والجسيمات المشحونة كهربائياً في المنظومة الشمسية ـ كمياتٍ من الطاقة تعادل طاقة مليار قنبلة هيدروجينية منفجرة.

تصل أشعةُ غاما والأشعةُ السينيّة وفوق البنفسجية الصادرة عن ألسنة اللهب إلى الأرض في غضون ثماني دقائق لا أكثر، على حين تصل جُسَيْماتُ ألسنةِ اللهب بعد ذلك بساعات بل بأيام. ومن شأن هذه الجسيمات أن تقضيَ على الحياة على الأرض لولا أن كوكبنا مصونٌ بحقله المغنطيسي وغلافه الجوّي. من هنا تبرز ضرورة تزويد المسافرين على متن طائرات أو مركبات فضائية تفوق الصوتَ سرعةً بوسائل حماية مناسبة أيضاً.

وعند ارتطام الجسيمات العالية الطاقة، الصادرة عن الشمس، بجوٍّ

الأرض، قد يتسبَّب ذلك في استثارة الذّرّاتِ والأيونات الجوّية، فتُصدِر ضوءاً تتولَّد منه ظواهر الشَّفَق القطبي auroras.

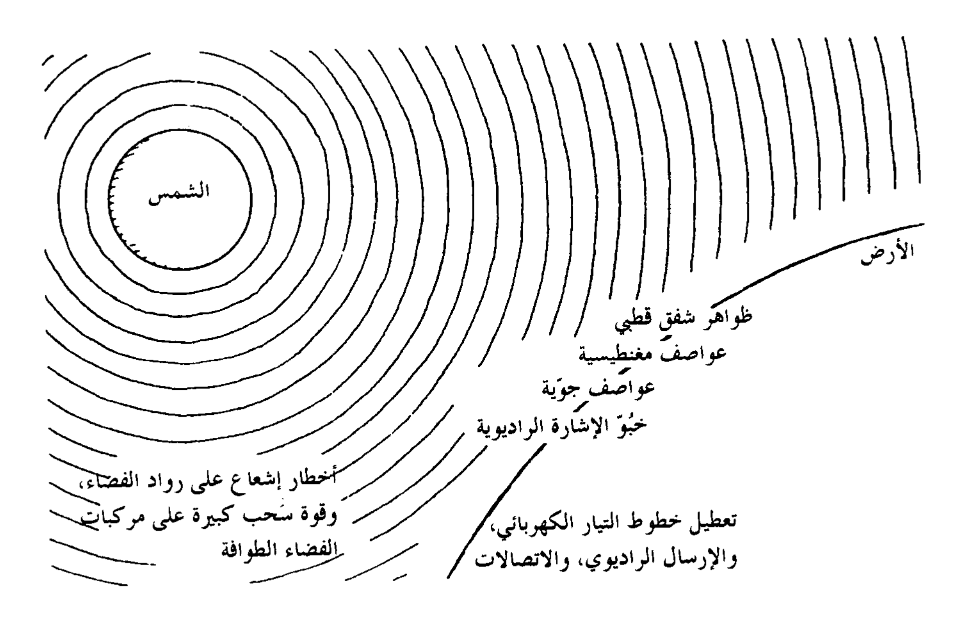
فالشفقُ القطبي الشمالي aurora borealis (أو northern lights) والشفقُ القطبي الجنوبي aurora australis (أو southern lights) شرائطُ مثيرةٌ من الضوء تسطع في سماء الليل أحياناً، في المناطق القطبية: الشمالية والجنوبية من الأرض في المقام الأول، مع إمكان حدوثها أيضاً عند خطوط العرض المتوسطة لِماماً. لكن الفعالية الشفقية القصوى تحدث حول قطبَي الأرض المغنطيسيَّيْن. يُذكَر أن الظواهر الشفقية تُرى بعد نحو يومين من ظهور لسان لهبٍ شمسي، وتبلغ ذروتَها بعد نحو عامين من ذروة كَلَف شمسي.

من جهة أخرى، فإن الاندفاعات الانفجاريةَ القوية لجسيمات ألسنة اللَّهب التي تتآثر interact مع الحقل المغنطيسي الأرضي، قد تتسبَّب في حدوث عواصفَ مغنطيسية magnetic storms لا تعمل معها البوصلة بصورة طبيعية. بل قد تتسبَّب ألسنةُ اللهب بحدوث عواصف جوّية، وتموُّرات[1] surges في التيار الكهربائي والخطوط الهاتفية، وأوقات تعتيم كامل.

يُسخِّن الإشعاعُ العالي الطاقة لألسنة اللهب الغلافَ الجوّيَّ الخارجي، فيتمدَّد. ثم تتزايد قوة الاحتكاك friction والسَّحْب drag على السواتل الطوّافة في مدارات منخفضة. وتكون قوة السَّحْب أعظميةً في أوقات الفعالية الشمسية القصوى، عندما يصبح من المحتمل أن تهبط السواتل خارجةً عن مداراتها، وتتحطم لدى دخولها جوَّ الأرض من جديد. ونشير هاهنا إلى أن محطتَيْ سكاي لاب الأمريكية (سنة 1979) و SMM (سنة 1989) كانتا من «ضحايا» الذُّرى الشمسية. ومع ازدياد التأيُّن، يمكن أن تعطِّل ألسنةُ اللهب الإرسالَ الراديوي.

(1) التموُّر: ارتفاع كبير مفاجئ في شدّة التيار في دارة كهربائية. (المعرِّب)

ولئن كان للألسنة الشمسية مثل هذا التأثير المباشر في الحياة الحديثة، فلا غروَ في أن يجتهد علماءُ الفلك في مراقبة الحقل المغنطيسيّ للشمس وفاعليتها مراقبةً دقيقةً ويومية. لكنَّ أحداً لا يستطيع حتى اليوم أن يتنبّأ بموعد حدوث لسان لهب (الشكل 14.4). ويبقى الاعتماد الرئيسي في ذلك منصبّاً على التحذيرات التي تأتي في الوقت المناسب، عن ألسنة لهب قد تؤثر في الأرض.



الشكل 14.4 آثار ألسنة اللهب الشمسية في بيئة الأرض.

اذكر اثنين من آثار ألسنة اللهب الشمسية الكبيرة في التكنولوجيا الحديثة على الأرض.

(1) ....؛ (2) ....

الجواب: (1) تعطيل منظومات الطاقة الكهربائية؛ (2) تعطيل منظومات الاتصال الراديوي.

14.4 الريح الشمسية

الريح الشمسية solar wind هي بلازما، أو فيضٌ من جسيمات نَشطة مشحونة كهربائياً تتدفَّق من الشمس في كل الأوقات. وهي أكثر سرعةً وضيقاً وحرارةً بكثير من أيّ ريحٍ على الأرض.

تُرصَد الريحُ الشمسية بأجهزةٍ تَحملها مركباتُ الفضاء فوق الغلاف الجوّي للأرض. ويبلغ معدَّلُ سرعتها قربَ الأرض نحواً من 450 كيلومتراً في الثانية (1 مليون ميل في الساعة). ويقارب زمنُ انتقالها من الشمس إلى الأرض أربعةَ أيام، لولا أن الغلافَ الجوّي للأرض وحقلَها المغنطيسي تحمينا عادةً من الآثار المؤذية للريح الشمسية.

تحدث «هبّاتٌ» عنيفة من الريح الشمسية في أوقات ظهور ألسنة اللهب الشمسية، وتكونُ الريح على أشدّها في الأوقات التي يكون فيها كثيرٌ من البقع الشمسية مرئياً، والنشاطُ الشمسي كبيراً، علماً بأن الريحَ الشمسية القوية قد تولِّد مظاهرَ شفق قطبيٍّ ساطعٍ جداً.

تنشأ الريحُ الشمسية بالدرجة الأولى من الثقوب الإكليلية coronal holes، وهي مناطق في إكليل الشمس تَكون الغازاتُ فيها أقلَّ كثافةً بكثير من سائر المناطق. ويلاحَظ أن الحقول المغنطيسيّةَ ضعيفةٌ نسبياً هناك، وهذا ما يسمح بانفلات دفقات من الريح الشمسية العالية السرعة.

في هذا الإطار تستمر الأجهزةُ العلمية على متن سفينة الفضاء ڤوياجر Voyager (الفقرة 12.8) بقياس الريح الشمسية في ما وراء مدار كوكب نپتون Neptune، وتمكَّنت من كشف ما يسمى الانقطاع الشمسي heliopause، وهو الحدُّ الذي تتوقف عنده فاعليةُ الرِّيح الشمسية.

ما هي الريح الشمسية؟ ....

....

الجواب: دفقٌ من الجسَيْمات النَّشطة المشحونة كهربائياً ينساب من الشمس.

15.4 سَبْر باطن الشمس

كان العلماءُ - حتى عهد قريب - على يقين من صحة إدراكهم للسبب الكامن وراء سطوع الشمس. إلا أن تجارب النيوترينوات الشمسية solar neutrino experiments أثارت بعضَ الشكوك.

فالطاقة الشمسية تتولَّد نظرياً عن طريق تحوُّل الهيدروجين إلى هليوم بتفاعلاتِ اندماجٍ نووي. وبهذه التفاعلات نفسِها تتولَّد أيضاً النيوترينوات الشمسية solar neutrino ، وهي جسيماتٌ أوَّلية[1] elementary particles1 سِمَتُها الأساسيةُ تآثرها interact الواهي مع المادة ونفاذها الحرّ خلالها[2].

وإذ يتعذَّر على العلماء بالطبع النظر مباشرةً في أعماق لبّ الشمس لاختبار صحة نظرياتهم، فإنهم يتنبَّأون بأن النيوترينوات المتولِّدة في اللُّب لا بدَّ من أن تنفلت، لذلك فهم يبحثون عن النيوترينوات الشمسية بدلاً من ذلك ويدرسونها.

فإذا كُشِف عن وجود نيوترينوات في المقدار المتكهَّن به نظرياً، كان ذلك دليلاً على صحة النظرية.

هذا وقد نَصَبَ العلماءُ مصائد نيوترينوات في أعماق الأرض، فكان عددُ ما كُشِفَ منها، على مدى السنوات العشرين الفائتة في مختبرات تحت أرضية في الولايات المتحدة وأوروبا واليابان وروسيا، أقلَّ من العدد الذي توقَّعوه نظرياً. ولربما ساعفَتْ تحاليلُ وتجاربُ علميةٌ إضافيةٌ أكثرُ دقةً واستقلالاً بتفسير مسألة النيوترينوات الشمسية solar neutrino problem هذه.

(1) الجُسَيْم الأوّلي: جُسَيْمٌ لا يمكن وصفه - بمعايير المعرفة الحالية - بأنه مركَّب، وهو من ثمّ واحدٌ من المكوِّنات الأساسية لكل أشكال المادة والطاقة التي هي أصغر وأقلُّ تعقيداً من الذرّات. (المعرِّب)

(2) تصَوَّر أنّ جسمك يخترقه في كل لحظة نحو تريليون نيوترينو قادم من الشمس دون أن يمسَّك سوء! (المعرِّب)

وعلم الزلازل الشمسية helioseismology مبحثٌ جديد يدرس البنيةَ الداخليةَ للشمس وأحوالها، عن طريق قياس الذبذبات العامة على سطحها؛ فتشير أمواجُ الضغط هناك إلى الكثافة ودرجة الحرارة ومعدَّل الدوران في جوف الشمس، تماماً كما تكشف الأمواجُ الزلزاليةُ الأرضية عن باطن الأرض. تُرصَد الذبذباتُ الشمسيةُ طيفياً بملاحظة انزياحات دوپلر في خطوطٍ طيفيةٍ معيَّنة (الفقرة 9.3). أما علم الزلازل الفلكية astroseismology فيوسِّع هذه الدراسة لتشمل نجوماً أخرى.

أعطِ تفسيرَيْن محتملَيْن للقلّة غير المتوقَّعة لعدد النيوترينوات الشمسية التي كشَفَتْها التجاربُ حتى اليوم.

(1) ....

(2) ....

الجواب: (1) إدراكنا للعمليات الجارية في باطن الشمس؛ أو (2) خطأ إدراكنا لطبيعة النيوترينوات أو نقصه. (يعتمد الفلكيون على نتائج التجارب).

16.4 صفاتٌ مشتركة

يبدو أن في النجوم الأخرى مناطق تتَّصف بنشاط عنيف، كتلك التي في الشمس، ويشمل ذلك البقعَ النجميّة starspots ودورات البقع النجميّة starspot cycles، مع الأخذ في الحسبان البُعد الشاسع للنجوم بحيث يتعيَّن هنا استنباط هذه الصفات بطريقة غير مباشرة، من خطوطها الطيفية وتغيُّرات درجة سطوعها، لا عن طريق رصدها مباشرة. وتدل أحدثُ الأرصاد السينيّة على أن جُلَّ أنواع النجوم لها أكاليل متشابهة، وتبلغ درجة حرارتها مليون درجة على الأقل.

اكتبْ نبذةً قصيرة عن ثلاث ظواهر تدلّ على فعاليةٍ عنيفة في الشمس

(وسِّع النبذةَ لتشمل النجوم الأخرى)، واذكر سببَها المحتمل

....

....

....

الجواب: يجب أن تتضمن إجابتُك نبذةً عن:

(1) الكَلف الشمسي، أو البقع المؤقتة القاتمة اللون والباردة نسبياً على الغلاف الضوئي للشمس؛

(2) ألسنة اللهب، أو الدفقات الانفجارية المفاجئة والقصيرة الأجل من الضوء والمادة قرب بقعةٍ شمسية؛

(3) ظواهر الشُّواظ، أو الأقواس الناريّة من الغازات المتأيِّنة على حافَة الشمس.

ويبدو أن النشاطَ العنيف للشمس ينشأ في معظمه عن حقولٍ مغنطيسيةٍ موضعيةٍ قويةٍ جداً، وينضبط وفقاً لها.

17.4 الحركات في الفضاء

تجري الشمسُ عبر فضاء الكون بسرعة كبيرة، شأنَ سائر النجوم الأخرى. وتتَّجه - بالنسبة إلى النجوم القريبة منها - نحو كوكبة هِرَقْل (الجاثي) Hercules بسرعة 20 كيلومتراً في الثانية (45،000 ميل في الساعة)، مصطحبةً كواكبها التسعة من المنظومة الشمسية[1].

تقع الشمسُ وكواكبُها داخلَ مجرَّة درب التبّانة Milky Way Galaxy،

(1) قال الله تعالى: ﴿والشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لها ذلكَ تقديرُ العزيزِ العليمِ﴾. [يس 38] (المعرِّب)

وهي تدور حول مركز المجرَّة في الوقت الذي تدور فيه المجرَّةُ كلُّها سابحةً في الفضاء الكوني الفسيح. وتبلغ سرعة الشمس قرابة 250 كيلومتراً في الثانية (563،000 ميل في الساعة) (الفقرة 6.2).

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الرابع وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. اذكر ثلاثة أسباب تحمل علماءَ الفلك اليوم على دراسة الشمس.

(1) ....

....

....

(2) ....

....

....

(3) ....

....

....

2. قابلْ كلاً من الأعمال التالية بأنسب أداةٍ تؤدّيه:

.... (أ) يصوِّر العمليات الجاريةَ في أشدّ مناطق الشمس نشاطاً وحرارة.

.... (ب) يصوِّر الإكليل فوتوغرافياً خارج الكسوف الشمسي.

.... (ج) يصوِّر السطحَ المرئيَّ للشمس.

...........(د) يصوِّر الشمسَ فوتوغرافياً في ضوء عنصرٍ معيَّن.

...........(هـ) يستقبل أمواجاً راديويةً شمسيةً ويسجِّلها.

(1) راسم الإكليل الشمسي.

(2) المقراب الشمسي البصري.

(3) المقراب الراديوي.

(4) راسم الطيف الشمسي.

(5) مقاريب الأشعة فوق البنفسجية والسينية وأشعة غاما.

3. عرِّف الواحدة الفلكية ....

....

4. ارسم رسماً تخطيطياً للشمس، وعيِّنْ عليه الإكليلَ، وغلافَ اللون، وغلافَ الضوء، ومنطقةَ الحَمْل، ومنطقةَ الإشعاع، واللُّبَّ.

5. قدِّر: (أ) قطر الشمس؛(ب) كتلتها؛ (ج) درجة حرارتها السطحية.

(أ) ....؛ (ب) ....؛

(ج) ....؛

....

6. لماذا تراقَب دورةُ البقع الشمسية بدقّة من الأرض؟

....

....

....

....

7. فيما يلي تعريفات لظواهر شمسية؛ طابِقْ بين كلِّ تعريف واسمه:

..........(أ) منطقة منخفضة الكثافة في الإكليل، حيث تنشأ الريح الشمسية.

.... (ب) خليّة ساطعة تشبه حبّةً من الأرُزّ في الغلاف الضوئي.

.... (ج) لطخ قاتم وبارد نسبياً في الغلاف الضوئي الساطع.

.... (د) جُسَيْماتٌ أوَّلية يتكهَّن العلماءُ أنها تتولَّد من تفاعلات نووية في اللُّب.

.... (هـ) دفقٌ انفجاريٌّ عظيم وقصير الأجل من الضوء والمادة.

(1) لسان لهب.

(2) حُبَيْبة.

(3) ثقب إكليلي.

(4) نيوترينو شمسي.

(5) بقعة شمسية.

8. ما هي الريح الشمسية؟ ....

9. اذكر أربع وسائل يستطيع بها لسانُ اللهب ودفقاتُ الريح الشمسية الكبيرة جداً التأثيرَ في بيئة الأرض.

(1) ....

(2) ....

(3) ....

(4) ....

10. (أ) ما هو الثابت الشمسي؟. (ب) ولماذا كان من المهم معرفة: هل هو ثابتٌ حقاً أم أنه يتغيَّر مع الزمن؟ ....

....

....

....

....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. (1) الشمس مصدرٌ مجانيّ مرسَل وخالصٌ من التلوُّث لا يكاد ينضب للطاقة الحالية والمستقبلية الكامنة.

(2) وهي النجمُ الوحيد القريب منّا نسبيّاً بدرجة تكفي لرصده ودراسته بإسهاب، ولذلك يتَّخذه الفلكيون إماماً لتعرُّف ماهية نجومٍ أخرى.

(3) تؤثر تغيُّرات خرج الطاقة الشمسية في مناخ الأرض وجوِّها، وكذلك في منظومات نقل الطاقة والاتصالات.

(الفقرتان 1.4 و13.4)

2. (أ) 5؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 4 ؛ (هـ) 3.

(الفقرة 7.4)

3. الواحدة الفلكية (AU) هو متوسط البُعد بين الأرض والشمس، وهو يناهز 150 مليون كيلومتر (93 مليون ميل) (أو 149،597،870 كم بالتحديد).

(الفقرة 2.4)

4. انظر الشكل 6.4 (مناطق الشمس).

(أ) الإكليل ؛ (ب) الغلاف اللوني؛ (ج) الغلاف الضوئي؛

(د) منطقة الحَمْل؛ (هـ) منطقة الإشعاع؛ (و) اللُّب

(الفقرة 4.4)

5. (أ) 1،390،000 كيلومتر (864،000 ميل)؛ (ب) 2×10^{30} كغ؛
(ج) 5800 كلفن (10،000° فارنهايتية).
(الفقرات 2.4 و4.4 و6.4)

6. تراقَب دورةُ البقع الشمسية بدقّةٍ من الأرض بوصفها مؤشّراً إلى نشاطٍ شمسي. وتكون الشمسُ في أوج نشاطها (ومن ثم في أوج دَفقها للطاقة والإشعاع) في السنوات التي يكون فيها عددُ البقع الشمسية أعظمياً (ذروة الكَلَف)؛ ويكون نشاطُها عند حدِّه الأدنى في سنوات حضيض الكَلَف.
(الفقرات 10.4 و 13.4 و14.4)

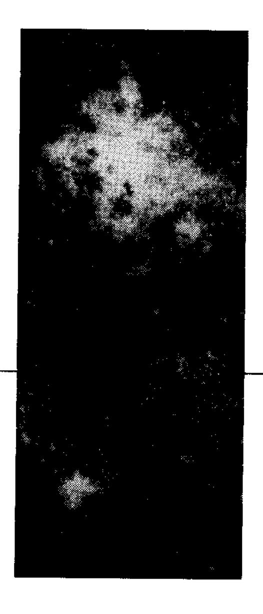
7. (أ) 3؛ (ب) 2 ؛ (ج) 5؛ (د) 4؛ (هـ) 1
(الفقرات 8.4 و 9.4 و 12.4 و 14.4 و 15.4)

8. دَفْقٌ من الجسَيْمات النَّشِطة المشحونة كهربائياً، ينساب من الشمس.
(الفقرة 14.4)

9. (1) تزايد الإشعاع الخَطِر؛
(2) ظواهر الشفق القطبي؛
(3) العواصف المغنطيسيّة؛
(4) العواصف الجوّية.
(الفقرتان 13.4 و14.4)

10. (أ) الثابت الشمسي هو كمية الطاقة الشمسية التي تنسكب على الغلاف الجوّي الخارجي للأرض كلَّ ثانية، وهي تناهز 1400 واط/ م^2 (126 واط/ قدم^2).

5



التطور النجمي

إن لكل شيء أواناً، ولكل مرام تحت السماء وقتاً مقدراً. ثمة ساعة للولادة وساعة لحلول الأجل.

Ecclesiastes 3:1-2 (سفر الجامعة)

الأهداف:

- تعريف التطوُّر النجمي.
- ذِكر مراحل دورة حياة نجمٍ كالشمس وفقاً للنظرية الحديثة للتطوُّر النَّجمي.
- بيان أهمية مخطَّط H-R في نظريات التطوُّر النجميّ.
- بيان العلاقة بين عُمر نجمٍ وموقعه على مخطط H-R.
- ذِكر المراحل الثلاث الرئِّيسية لولادة نجم.
- وصف ميزان الطاقة وميزان الضغط في نجوم من التسلسل الرئيسي.
- مقايسة ما يحدث في المراحل المتقدِّمة لتطوُّر النجوم الكبيرة الكتلة والصغيرة الكتلة: السُّدُم الكوكبية، والأقزام البِيْض، والمستَعِرات

الفائقة، والنجوم النبَّاضة/النترونية، والثقوب السوداء.

- تَعرُّف السُّدُم، والتسلسل الرئيسي، والعملاق الأزرق، والعملاق الأحمر، والنجوم المتغيِّرة النبّاضة التي يمكن رصدها في السماء.
- بيان طريقة رصد المستَعِرات الفائقة والنجوم النبَّاضة.
- تحرّي منشأ العناصر الكيميائية المختلفة، وأهمية المستعرات الفائقة للأجيال الجديدة من النجوم.
- إيراد دليلٍ رصديٍّ عن الثقوب السوداء.

1.5 دورة حياة النجوم

ليس ثمة نجمٌ يبقى مضيئاً إلى الأبد. والتطوُّر النَّجمي stellar evolution هو ما يطرأ على النجوم من تغيُّرات مع الزمن، وهذا ما يسمّى دورة حياة النجوم life cycle of stars. ويتعذَّر بالطبع رصدُ هذه التغيُّرات رصداً مباشراً لأنها لا تحدث بين عشية وضحاها، وإنما على مدى ملايين، بل مليارات السنين. ويعتمد علماءُ الفلك مبادئ نظريةً في التطوُّر النجميِّ تتَّفق وقوانينَ الفيزياء، ثم يتحقَّقون صحةَ هذه المبادئ عن طريق رصد نجومٍ حقيقية ساطعة في السماء.

لإجراء عملية التحقُّق هذه يستعين العلماءُ بمخطَّطات H-R، فيقدِّمون توقُّعات نظريّةً تتعلَّق بسلسلة تغيُّرات في ضيائية النجوم ودرجة حرارتها منذ ولادتها وحتى اندثارها. تُثْبَت هذه التغيُّرات على مخطط H-R، فتؤلِّف ما يسمى مسارات التطوُّر tracks of evolution النظرية. تقارَن مخطَّطاتُ H-R النظريةُ بعد ذلك بمخططاتِ H-R موضوعة استناداً إلى أرصاد مجموعات نجومٍ حقيقية (الفقرة 4.6).

إن التوقُّعات التي تقدِّمها نظريةُ التطوُّر النجميِّ الحديثةُ modern theory of stellar evolution، الواردة في هذا الفصل، تنسجم تماماً والمعطيات المتحصَّلة من أرصاد نجومٍ حقيقية.

ما هو التطوُّر النجميّ؟ ....

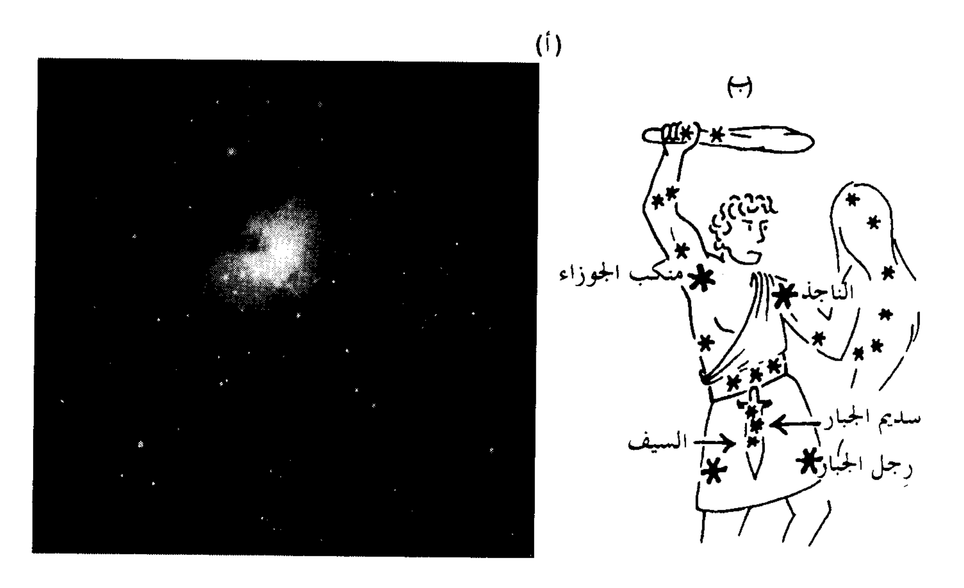
....

الجواب: التغيُّرات التي تحدث في النجوم بمرور الزمان عليها، أي دورة حياة النجوم.

2.5 منشأ النجوم ✪

تتكوّن النجومُ من مادة توجد في الفضاء. ويرى العلماءُ أن السُّحُبَ البَيْنَجميَّة interstellar clouds العملاقةَ من الغاز والغبار لا بدَّ من أن تكون هي موطن ولادة النجوم.

وبإمكانك أن ترى أقربَ سحابة في الفضاء حيث تتكوَّن الآن نجومٌ وليدة؛ فسديم الجبّار Orion Nebula المعروف، الواقع على بُعد نحو 1500 سنة ضوئية في كوكبة الجبّار هي منطقة تكوُّنٍ نجميٍّ كثيف (الشكل 1.5).



الشكل 1.5 سديم الجبّار (في كوكبة الجبّار).

ابحثْ عن سديم الجبّار في فصل الشتاء؛ إنه يقع في سيف الجبّار على خريطة السماء في الشتاء، ويبدو لعينك رقعةً ضبابيّة. فإذا نظرتَ إليه من خلال مقراب تراه متوهِّجاً بلون يميل إلى الخضرة، ذلك لأن الغازات تتوهَّج بفعل النجوم الحارّة الحديثة التكوُّن في المنطقة. وهذا السديم مرتبطٌ بسحابةٍ أكبر بكثير لكنها غير مرئية.

هل هناك نجومٌ جديدةٌ مازالت تولَد اليوم؟ أين؟ ....

....

الجواب: نعم، في سُحُبٍ عملاقةٍ من الغاز والغبار، من قبيل سديم الجبّار.

3.5 ولادة نجم

نسمّي النجمَ في أولى مراحل تطوُّره نجماً أوّلياً وليداً protostar. ويمكنك القول إنه نجمٌ يولَد الآن.

تتكوَّن النجومُ الوليدةُ اتّفاقاً على شكل كُتَلٍ عالية الكثافة داخل سُحُبٍ غازية (معظم تركيبها من الهيدروجين) وغباريّة توجد في فضاء الكون. ويرجَّح أن هذه العمليةَ تنطلق بفعل موجة صدمٍ shock wave صادرة عن نجمٍ منفجر (مسْتَعِر فائق).

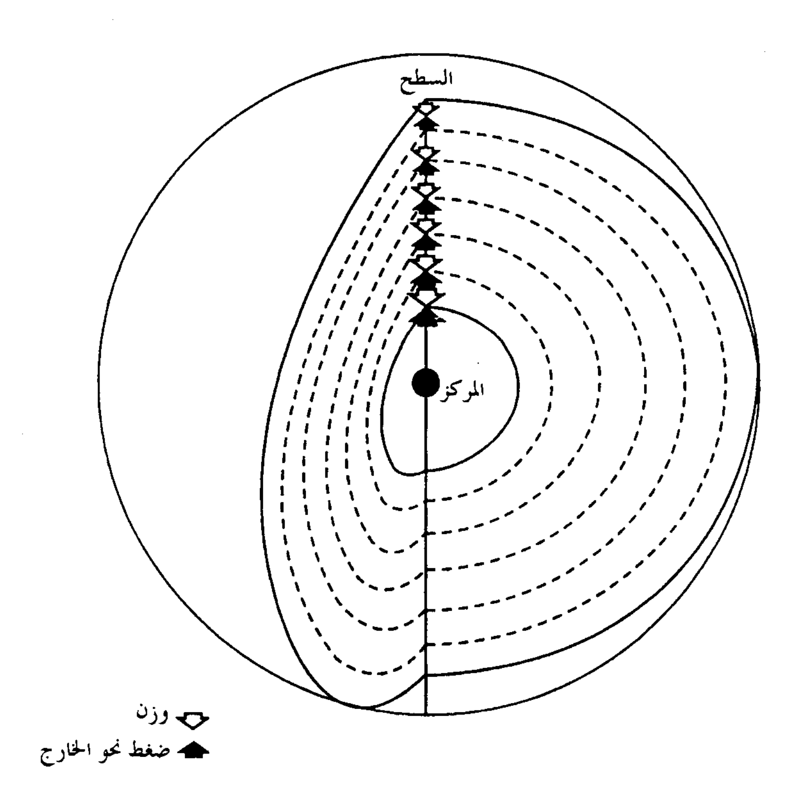
يتماسك النجمُ الوليد بتأثير قوة الثقالة، التي تَجذب المادةَ بادئ الأمر إلى الداخل باتجاه مركزٍ كتلة كثيفة، فتسبِّب تقلُّصَها وتَزايُدَ كثافتِها أكثر فأكثر. تستمر المادة بالتنامي على النجم الوليد في أثناء تقلُّصه. ويُفضي التقلُّصُ التثاقلي للسحابة والنجم إلى ارتفاعٍ كبير في درجة الحرارة والضغط داخلهما.

تتدفَّق الحرارةُ من المركز الحارّ للنجم الوليد إلى سطحه الذي هو أقلّ حرارة، فيُطلقها النجمُ في الفضاء طاقةً تشعُّ عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء.

وفي سحابةٍ دوّارة، قد يحيط بالنجم الوليد قرصٌ من الغبار والغاز يُطلِق هو بدوره الطاقةَ تحت الحمراء من جديد. ومن المحتمل أن جسيمات في القرص تتنامى لتكوِّن الكواكب (الشكل 2.12).

وعندما تبلغ درجةُ الحرارة في مركز النجم الوليد 10 ملايين كلڤن تبدأ تفاعلاتُ اندماجٍ نوويٍّ تتحرَّر منها كمياتٌ ضخمةٌ من الطاقة، التي تتولَّد في المركز بالسرعةِ نفسها التي تتحرَّر بها إلى الفضاء، وهكذا تبقى درجةُ الحرارة الداخلية العالية جداً، وكذلك درجة الضغط الداخلي العالي مصونتين.

يتوازن ضغطُ الغازات الحارّة جداً نحو الخارج مع قوة الجذب الثقالي نحو الداخل (الشكل 2.5)، ويسمى هذا بالتوازن الهيدروستاتي (السكوني -



الشكل 2.5 ضغط الغاز نحو الخارج يوازن الثقالةَ عند كل مستوىً في النجم.

السائلي) hydrostatic equilibrium. يتوقف هذا النجمُ الأوّليُّ عن التقلُّص، ويُرسل ضوءَه الذاتيَّ في الفضاء باطّراد ليصبح نجماً وليداً. وأغلب الظن أنَّ شمسنا قد وُلدت بهذه الطريقة منذ نحو 5 مليارات سنة خلت.

هذا وتؤيِّد الأرصادُ الحديثةُ نظريةَ ولادة النجوم هذه وتعضدها؛ فقد أمكن تصويرُ نجومٍ أوّلية في اللُّبوب الكثيفة dense cores لسُحُبٍ غازيَّة عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء. وكذلك رُصدت نفثاتٌ من الغاز تتدفَّق من نجومٍ فتيَّة. ولعلها تنتظم بفعل قرصٍ حول ـ نجميّ تنشأ عنه كواكب فيما بعد.

اذكرِ المراحلَ الثلاث الرئيسية لولادة نجم:

(1) ....

(2) ....

(3) ....

الجواب:

(1) التقلُّص التثاقلي ضمن سحابة غازٍ وغبار؛

(2) ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛

(3) الاندماج النووي.

4.5 أعمار النجوم

إن السُّحُبَ التي تتكوَّن فيها النجومُ الوليدة لا تتماثل في كُتَلها أو توزُّع العناصر الكيميائية فيها. وتعتمد دورةُ حياة نجم ـ أي الزمن الذي يستغرقه النجم ليتطوَّر ـ على كتلته mass الأوَّلية وتركيبه الكيميائي chemical composition.

فالنجوم التي تبدأ حياتها بكُتَلٍ متقاربة وتركيبٍ كيميائي متشابه تمرُّ بمراحل تطوُّر واحدة في زمن متقارب.

ويلاحظ أن النجومَ المتماثلةَ التركيب الكيميائي ذاتَ الكتلة الكبيرة جداً هي أسرع النجوم تطوُّراً، في حين تستغرق نجومُ الكتلة المنخفضة جداً أطول زمنٍ كي تتطوَّر.

والشكل 3.5 يمثِّل مساراتِ التطوُّرِ النظريةَ على مخطط H-R. لاحظْ تغيُّر ضيائيةِ النجم الأوَّلي ودرجةِ حرارته وهو يتقلَّص ليصبح نجماً.

كم من الزمن على وجه التقريب يستغرق كلٌّ من النجوم الوليدة التالية ليبلغ عمره صفراً على التسلسل الرئيسي (أي ليولد)؟

(أ) نجومٌ كشمسنا ....؛

(ب) نجومٌ أكبر كتلةً من الشمس بكثير ....؛

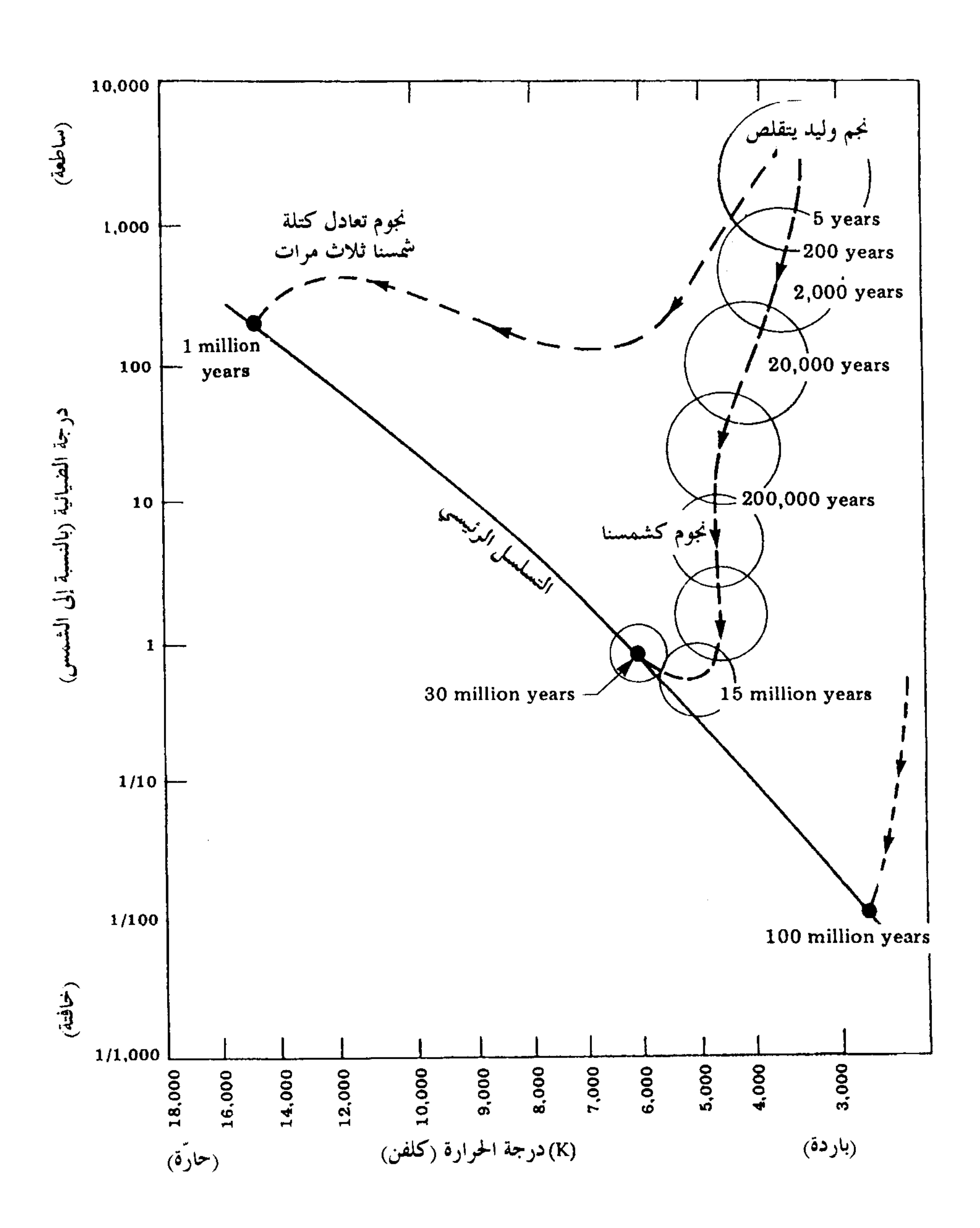
(ج) نجومٌ أصغر كتلةً من الشمس بكثير ....

الجواب: (أ) نحو 30 مليون سنة؛ (ب) نحو مليون سنة ؛ (جـ) نحو 100 مليون سنة.

5.5 لماذا تضيء النجومُ

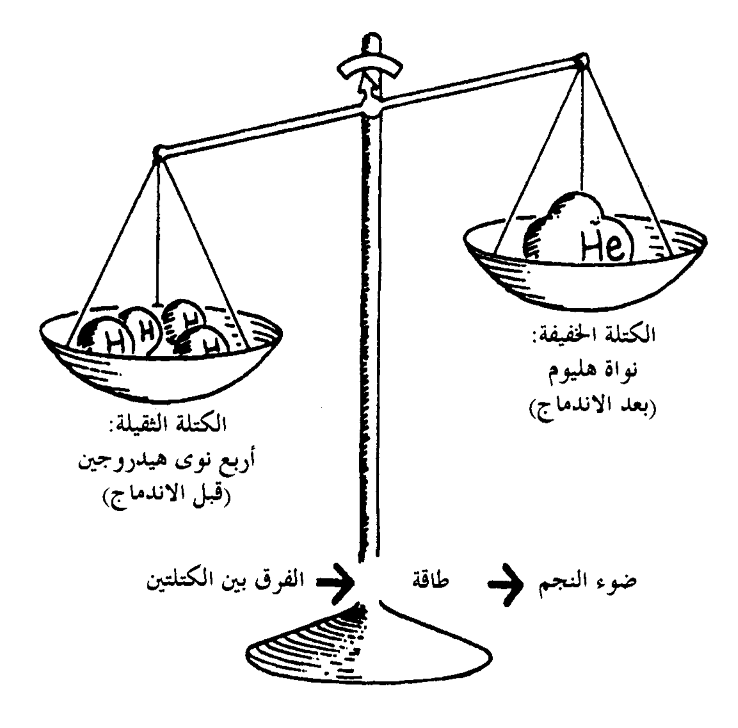
يمكنك عَدُّ نجوم التسلسل الرئيسي main sequence نجوماً تامةَ التطوُّر. وقد وُجد أن تطوُّر نجوم التسلسل الرئيسي بطيءٌ جداً مقارنةً بالتغيُّرات التي تطرأ على النجوم الوليدة. يَقضي النجمُ معظمَ دورةِ حياته وهو يضيء باطّراد، وتُدوَّن قِيَم الضيائيةِ ودرجاتِ الحرارة على امتداد التسلسل الرئيسي لمخططات H-R.

يَستمدُّ نجمُ التسلسل الرئيسي طاقتَه من تفاعلات الاندماج النووي nuclear fusion reactions التي يتحوَّل فيها الهيدروجين في مركز النجم إلى



الشكل 3.5 المسارات النظرية للتطوُّر تُظهِر التغيُّراتِ الضيائيةَ والحراريةَ في نجومٍ وليدة متقلِّصة متفاوتة الكتلة. (زمن التقلُّص مدوَّن عند نقطة نهاية كلِّ مسار).

هليوم (الشكل 4.5)؛ إذ تندمج أربعُ نوى هيدروجين متحولة إلى نواة هليوم واحدة أخفّ وزناً، وتستحيل الكتلةُ المفقودةُ إلى طاقةٍ تتحرَّر. (هذه العملية نفسها تحرِّر طاقةً في القنابل الهيدروجينية).



الشكل 4.5 تجربة تخيّلية تُظهِر لماذا تضيء النجوم. فلو كنتَ تستطيع وزن نوى الهيدروجين قبل الاندماج، ونواةِ الهليوم بعده، لتبيَّنتَ أن نواةَ الهليوم أخفُّ وزناً.

تصل الطاقةُ الناجمةُ عن تفاعلات الاندماج النووي في نهاية الأمر إلى سطح النجم، فيضيء النجمُ طاقةً في الفضاء.

ومن الممكن حسابُ كمية الطاقة المتحرِّرة من تفاعلِ اندماجٍ نووي، من العلاقة التالية المعروفة التي وضعها عالم الفيزياء الأمريكي (الألماني المولد) ألبرت أينشتاين Albert Einstein (1879 ـ 1955):

$$E = mc^2$$

حيث E = الطاقة، m = فرق الكتلة، c = سرعة الضوء

تقضي هذه المعادلة بأنه عند حدوث عدة تفاعلاتِ اندماج نوويٍّ في وقت واحد، تتحرَّر كمياتٌ هائلةٌ من الطاقة. فالشمسُ كرةٌ عظيمةٌ من غازاتٍ بالغة الحرارة، تضيء إضاءةً ثابتةً مطَّردة، من غير أن يطرأ عليها تغيُّرٌ محسوس في حجمها أو في درجة حرارتها. ومعلوم أن ما يقدَّر بخمسة ملايين طن من الهيدروجين لا بدَّ من أن تتحوَّل فيها إلى هليوم كل ثانية لتوليد ضيائيَّتها، ومع ذلك فإن أقلَّ من 0,01 في المئة فقط من كتلة الشمس الإجمالية يتحوَّل إلى أشعة شمسية في غضون مليار سنة.

ما هو مصدرُ الطاقة الذي يحمل نجومَ التسلسل الرئيسي على الإضاءة؟

....

الجواب: تفاعلات الاندماج النووي التي يتحوَّل فيها الهيدروجين إلى هليوم.

6.5 شيخوخة النجوم

يستمر النجمُ بالإضاءة باطِّرادٍ وثبات، بصفته نجمَ تسلسلٍ رئيسي، إلى أن يتحوَّل كاملُ الهيدروجين المتاح في لبِّه إلى هليوم. عندئذ يبدأ النجم بالاندثار.

والشمس نجمٌ متوسط الحجم، مضى عليه حتى اليوم مضيئاً مستقراً من نجوم التسلسل الرئيسي نحوٌ من 5 مليارات سنة، ويُنتظَر أن يستمر في إضاءته المطَّردة لخمسة مليارات سنة أخرى.

وأقصر النجوم عمراً وأسرعها اندثاراً النجومُ الساطعةُ الحارَّة ذات الكتلة الكبيرة جداً، ذلك لأنها أسرع في استنفاد هيدروجينها؛ فالنجومُ العملاقةُ الزُّرْق الكبيرة الكتلة (من مثل رِجل الجبّار Rigel في كوكبة الجبّار Orion) لا

تقضي أكثر من بضعة ملايين السنين مضيئةً في التسلسل الرئيسي.

أما أطول النجوم عُمراً فهي النجوم المعتمةُ الباردة ذات الكتلة الصغيرة جداً، لأنها أبطأ في استنفاد هيدروجينها؛ فالأقزام الحُمْر الصغيرة الكتلة هي أقدم النجوم عُمراً وأكثرها عدداً من بين نجوم التسلسل الرئيسي، إذ قد تصل أعمارها مليارات السنين.

ما أنواع النجوم التي يُتوقَّع لها أن تكون

(أ) أطول عمراً من غيرها؟ ....؛

(ب) أقصر عمراً من غيرها؟ ....؛

(ج) كم من الزمن على وجه التقريب يُتَوقَّع للشمس أن تستمر في سطوعها الحالي؟ ....

الجواب: (أ) نجوم الكتلة الصغيرة، كالأقزام الحُمْر؛ (ب) نجوم الكتلة الكبيرة جداً، كالعمالقة الزُّرْق؛ (ج) زهاء 5 مليارات سنة.

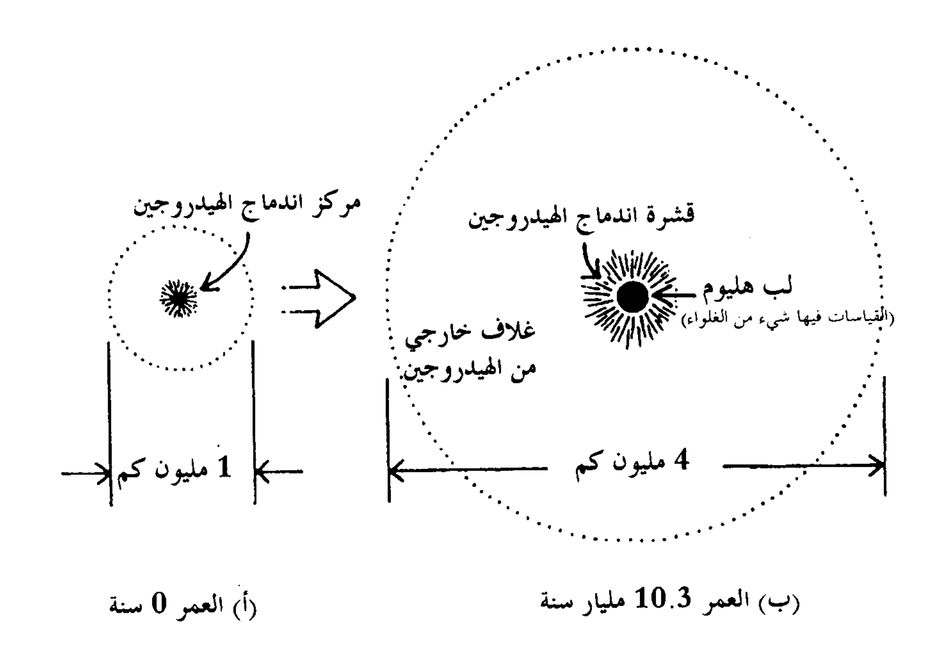
7.5 العمالقة الحُمْر

بعد استنفاد وقود الهيدروجين في لبّ النجم، عاد النجمُ الآنَ بدون مَصْدر للطاقة يغذّيه، فيبدأ لبُه ـ الذي غدا مؤلّفاً من الهليوم في المقام الأول ـ بالتقلُّص ثقاليّاً. ويستمر اندماج الهيدروجين عند الحدِّ الفاصل بين اللبّ والغلاف الهيدروجيني الخارجي.

يؤدي التقلُّصُ الثقاليُّ إلى ارتفاع درجة حرارة اللبِّ الهليومي للنجم، ومن شأن الحرارة العالية أن تسرِّع عملية اندماج الهيدروجين، فتزداد ضيائيةُ النجم تبعاً لذلك.

وبفعل الطاقة الهائلة المتحرِّرة نتيجةً للاندماج الهيدروجينيِّ والتقلُّصِ الثاقلي، تتسخَّن الطبقاتُ المحيطة، ويؤدي هذا التسخين إلى تمدُّد النجم

تمدُّداً عملاقياً. وتكون الكثافة عندئذ منخفضةً جداً في كل مكان من النجم إلا في لبِّه (الشكل 5.5).



الشكل 5.5 رسم تمثيلي لنجم شبيهٍ بالشمس (أ) في بداية حياته على التسلسل الرئيسي، و(ب) عندما يَشِيخ متحوِّلاً إلى عملاقٍ أحمر.

وإذ يتمدَّد النجم، تهبط درجةُ حرارته السطحية، ويتغيَّر لونُ سطحه إلى الأحمر. وبذلك يكون قد تحوَّل إلى نجمٍ هَرِمٍ أحمرِ اللون هائلِ الجِرم وساطعِ الضوء نسمّيه عملاقاً أحمر red giant. صحيحٌ أنه بارد، إلا أنه ساطعٌ بسببِ مساحة سطحه الرحيبة، وصارت له قِيَمُ الضيائية ودرجة الحرارة لمنطقة العمالقة الحُمر على مخطط H-R.

يمكنك رؤيةُ بعض النجوم فوق العملاقة تسطع في السماء، ومن الأمثلة الصالحة عليها منكبُ الجوزاء Betelgeuse من كوكبة الجبّار Orion،

وقلب العقرب Antares من كوكبة العقرب Scorpius، اللذان يبلغ قطرُ كلٍّ منهما قطرَ الشمس 400 مرة أو يزيد (انظر الجدولين 1.1 و 1.2).

ويُتَوقَّع لشمسنا ـ شأنَ سائر النجوم ـ أن تتحوَّل إلى عملاقٍ أحمرَ هائلٍ عندما يحين وقت اندثارها، وعندئذ ستضيء الشمسُ العملاقةُ الحمراء بسطوعٍ شديد تنصهر معه صخورُ الأرض وتتبخَّر محيطاتها وتنمحق الحياةُ على سطحها.

متى يبدأ نجمٌ بالتحوُّل من نجم تسلسلٍ رئيسيّ إلى عملاقٍ أحمر؟

....

الجواب: عندما يتحوَّل كلُّ وقود الهيدروجين الموجود في لبّها إلى هليوم.

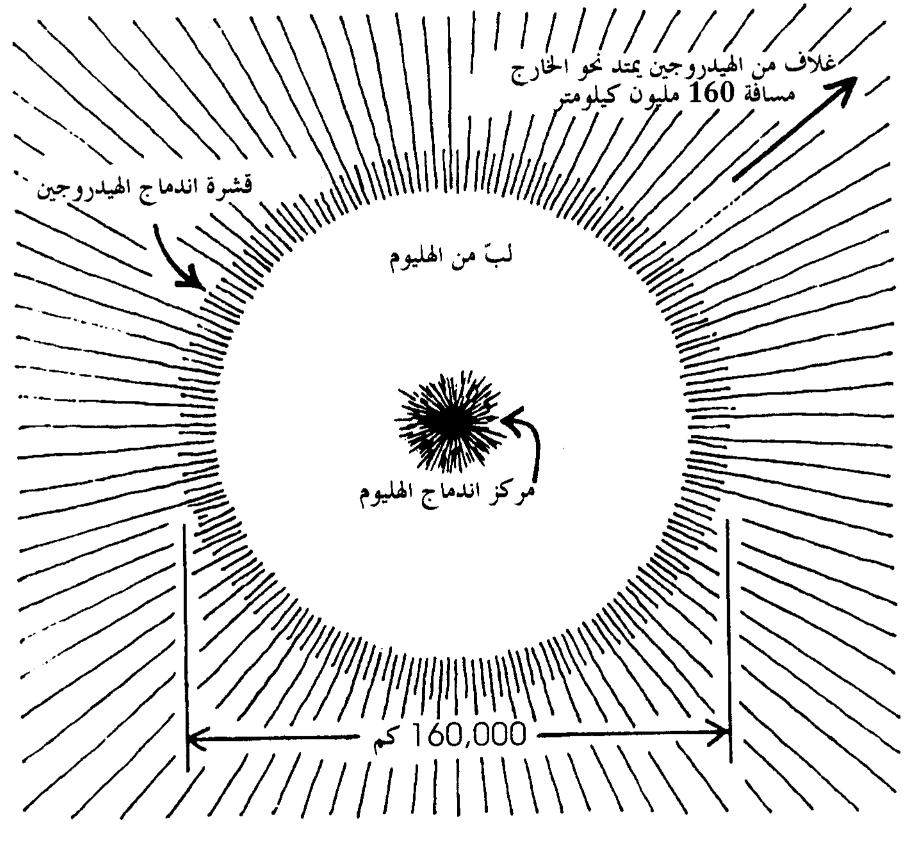
8.5 تخليق العناصر الثقيلة

يتسبَّب التقلُّص التثاقلي في ارتفاع درجة الحرارة داخل اللبّ الهليومي للعملاق الأحمر ارتفاعاً كبيراً يصل إلى 100 مليون كلفن. عند هذه الحرارة يتحوَّل الهليوم إلى كربون بحدوث تفاعلات اندماجٍ نووي (الشكل 6.5).

وحالما تبدأ عمليةُ اندماج الهليوم يتوقف اللبُّ عن التمدُّد تمدُّداً كبيراً. تتنامى درجة الحرارة بسرعة دون حصول تمدُّد يساعد في التبريد وحفظ التوازن، فتندمج نوى الهليوم بصورة أسرع فأسرع، ويصبح اللبُّ أشدَّ حرارة. يسمّى هذا الاشتعالُ الانفجاريُّ لاندماجِ الهليوم ومضةَ الهليوم helium flash.

بمرور بعض الوقت، ترتفع درجةُ الحرارة ارتفاعاً يكفي لتمديد اللُّب. وفي حين يحدث التبريدُ في الداخل، يستمر اندماجُ الهليوم بمعدّل سرعةٍ ثابت، محاطاً بقشرة اندماج الهيدروجين hydrogen-fusing shell.

وفي باطن أكبر العمالقة الحُمْر كتلةً، قد يؤدي حدوثُ مزيدٍ من



الشكل 6.5 بنية نجمٍ عملاقٍ أحمر.

تفاعلات الاندماج إلى توليد عناصر مألوفة أثقل من الكربون، مثل الأكسجين والألمنيوم والكالسيوم (الملحق 4).

يعتقد علماءُ الفلك أن عناصر كالكربون والأكسجين، التي نحتاج إليها لحياتنا، تتكوَّن (أين)؟ ....

الجواب: في باطن النجوم العمالقة الحُمر.

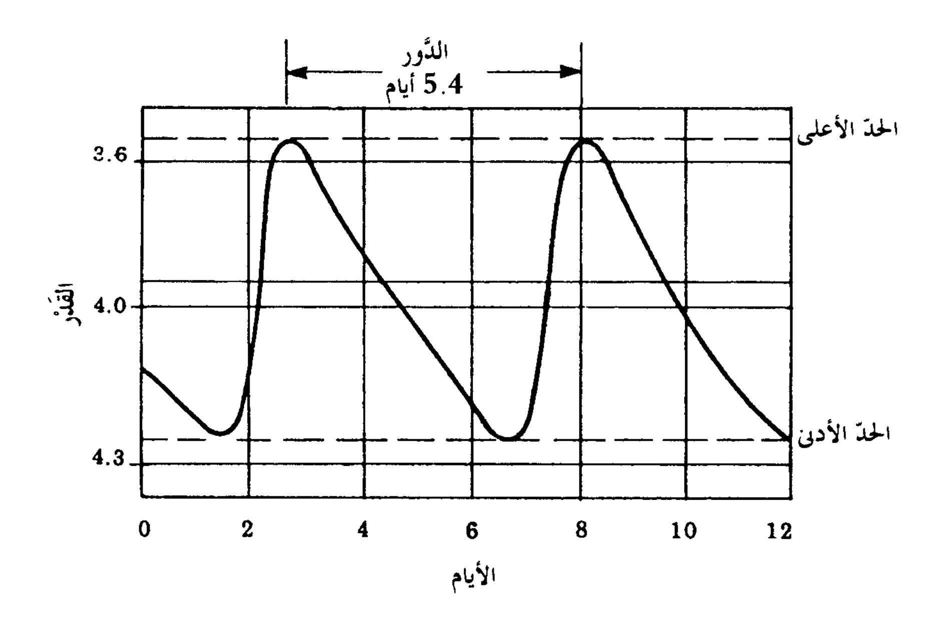
9.5 النجوم المتغيِّرة ✪

يترجَّح للفلكيين أن النجوم ـ قبل أن تدخل المراحلَ الأخيرةَ من دورة

حياتها ـ تتحرك إقبالاً وإدباراً بين منطقة العمالقة الحُمر والتسلسل الرئيسي عدة مرات، حركةً لم يدركوا كنهها حتى اليوم إدراكاً تاماً.

وأغلب الظن أن معظم النجوم تتحوَّل من عمالقةٍ حُمر إلى نجوم متغيِّرةٍ نبّاضة pulsating variable stars قبل أن تبيد؛ بمعنى أنها تتمدَّد وتتقلَّص وتسطع وتخبو دورياً.

وهناك المتغيِّرات القيفاوية cepheid variables، وهي نجومٌ صفراء كبيرةٌ جداً ومضيئة يتفاوت خَرْج ضوئها في الأدوار الواقعة بين يوم واحد و 70 يوماً. فبإمكانك رصدُ المتغيِّر القيفاوي دلتا قيفاوس Delta Cephei، وهو أول ما اكتُشف من هذه المتغيرات، اشتُقَّ منه اسمُ هذا الصنف منها (الشكل 7.5). وتَبرز أهميةُ القيفاويات في أنها توفِّر طريقةً لقياس المسافات البعيدة التي يتعذَّر قياسها بطريقة اختلاف المنظر المثلَّثي trigonometric parallax.



الشكل 7.5 منحنى الضوء، يُظهِر تغيُّرَ خَرْج الضوء للمتغيِّر القيفاوي الأوَّلي دلتا قيفاوس.

تجدر الإشارة إلى أنه قد عُرِفَ أكثر من 700 متغيِّرٍ قيفاويٍّ في مجرَّتنا دربِ التبّانة، وأنَّ نجمَ القطب Polaris هو أقربها إلينا، وتتغيَّر درجةُ سطوعه بين القَدْرَيْن 2.5 و 2.6 كلَّ نحو أربعة أيام.

اكتَشَفتْ عالمةُ الفلك الأمريكية هنرييتا ليفيت Henrietta Leavitt (1868 - 1921) علاقةً تقضي بتزايد ضيائية القيفاويات مع تزايد طول دَوْر التغيُّر في ضوئها؛ أي أن لأكثر النجوم ضيائيةً أدواراً نبضيَّةً أطول. تسمى هذه العلاقةُ علاقةَ الدَّور بالضيائية period-luminosity relation، يرجع إليها الفلكيون في تحديد القَدْر المطلَق للقيفاويات بعد قياس أدوارها.

إن مقارنةَ القدر المطلق المحسوب بالقدر الظاهري المرصود يعطي بُعدَ القيفاويات، إضافةً إلى المجموعات النجمية التي تنتمي إليها (الفقرة 16.3). كذلك تعدُّ القيفاويات ذات فائدة باعتبارها معالم مسافات distance markers حتى مسافة 3 ميغا فرسخ فلكي تقريباً (10 ملايين سنة ضوئية).

وهناك أيضاً متغيِّرات الشلياق RR (RR Lyrae variables)، المسماة نسبةً إلى النجم المتغيِّر RR في كوكبة الشلياق Lyra، وهي عمالقةٌ نبّاضة بيض مزرقّة يتغيَّر خرجُ ضوئها من أعلى درجات السطوع إلى أدنى درجات العتامة في أدوارٍ لا تتجاوز يوماً واحداً. وقد عُرِف من متغيرات الشلياق هذه في مجرّة درب التبانة نحو 4500 نجم، ويستعان بها في قياس المسافات إلى الحشود النجمية التي تنتمي إليها، حتى مسافة 200،000 فرسخ فلكي (600،000 سنة ضوئية) تقريباً.

أما متغيِّرات أعجوبة قَيْطس الطويلة الدَّور long-period Mira variables، المسماة نسبةً إلى النجم مايرا (أي الأعجوبة) المعروف في كوكبة قيطس، فهي عمالقةٌ حُمْر تستغرق بين 80 و 1000 يوم لتتغيَّر بين سطوعٍ أعظمي وخفوتٍ أدنى. والنجم مايرا نفسُه - الذي يبعد قرابة 40 فرسخاً فلكياً (130 سنة ضوئية) - يتغيَّر من أعلى درجات سطوعه الأحمر إلى خَرْجه الأدنى في

غضون 332 يوماً، فيصبح عندئذٍ غير مرئي. ولعلَّ من الطريف أن التسمية اللاتينية «مايرا» Mira بمعنى «الأعجوبة» قد أطلقها عليه الراصدون الفلكيون في القرن السابع عشر، تعبيراً عن عجبهم وإعجابهم به، وكانوا هم أوَّلَ مَنْ دوَّنَ تراوحات سطوعه.

ما الصفتان اللتان تتغيران دوريّاً في نجمٍ متغيِّرٍ نبّاض؟

(1) .... ؛ (2) ....

الجواب: (1) الحجم؛ (2) الضيائية.

10.5 اندثار النجوم

تتطوَّر النجومُ كلُّها على منوالٍ واحد تقريباً، إلى أن تغدو لبوبُها ركاماً من الكربون أو تكاد، على أن ذلك يحدث على آمادٍ زمنيةٍ مختلفة (الشكل 8.5). وتتوقَّف المرحلةُ الأخيرةُ من تطوُّر نجم ـ أو الطريقةُ التي تنتهي بها حياته ـ على كتلته إلى حدٍّ بعيد.

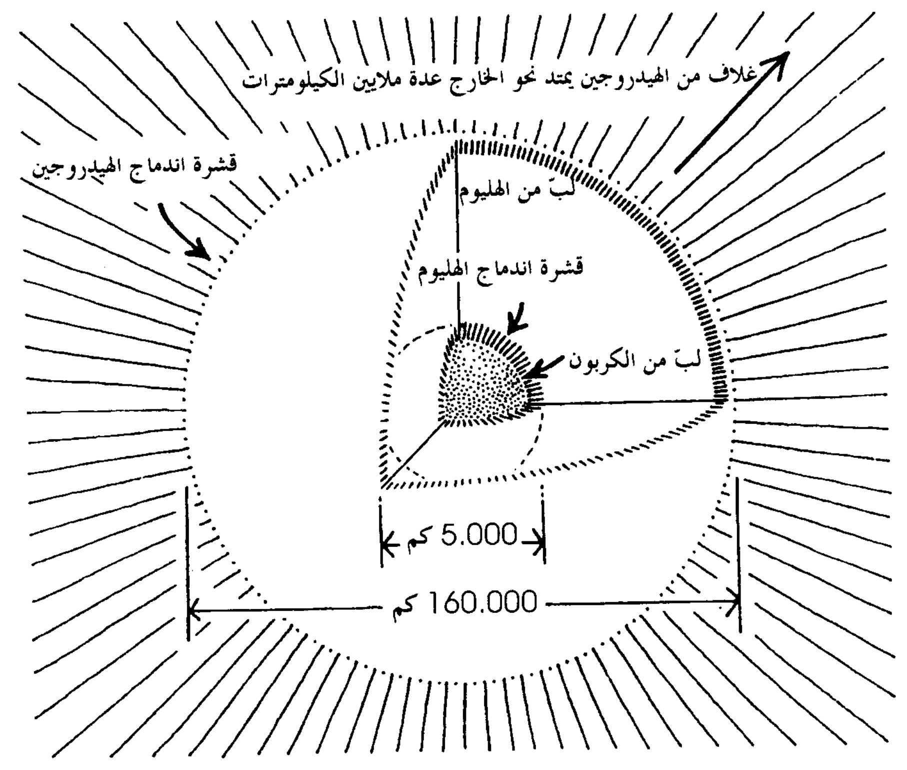
فالنجوم الصغيرة، التي قد تصل كتلتها 1,4 مرة كتلةَ الشمس، تندثر في نهاية الأمر بهدوء، فلا أكثر من أن تذوي وتضمحلّ في لُجِّ ظلمة الفضاء الكوني. أما النجوم الكبيرة الكتلة فتندثر بانفجارٍ عنيف يُطلِق ضوءاً باهراً يَذهب بالأبصار قبل أن تلفظ أنفاسها.

ما الصفة التي تحدِّد طريقةَ اندثار نجمٍ عند انتهاء دورة حياته؟ ....

الجواب: كتلته.

11.5 فقدان الكتلة

ما إن يَستنْزِف نجمٌ ذو كتلةٍ ـ كالشمس ـ كلَّ وقود الهليوم المتاح لَه، حتى يمسي نجماً عملاقاً أحمر منتفخاً للمرة الأخيرة. (تتضخَّم الشمسُ في



الشكل 8.5 بنية نجمٍ ذي لبٍّ داخليّ يتزايد فيه الكربون باطّراد.

هذه المرحلة من حياتها تضخُّماً مفرطاً، فتَبتلع كواكبَ: عطارد والزهرة والأرض والمرّيخ).

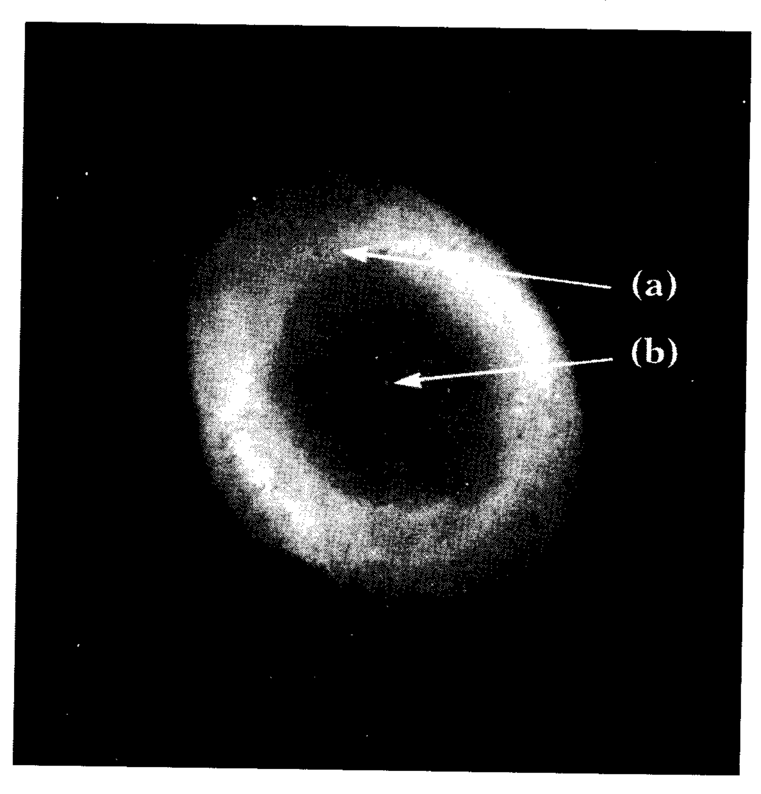
يطرح النجمُ بعد ذلك شيئاً من كتلته، فينفلت غلافُه الهيدروجينيُّ الخارجي في فضاء الكون وقد أغْنَتْه العناصرُ الثقيلة. تنساب الجسيماتُ المشحونةُ كهربائياً على صورة دفقٍ يسمى الريح النجميَّة stellar wind. (تقدَّمتْ لك دراسةُ الريح الشمسية في الفقرة 14.4). ثم تنطرح الطبقاتُ التي هي أعمق ضمن قشرة غازية هشَّة ومتمدِّدة يبلغ قطرها عادةً زهاء 0,5 – 1 سنة ضوئية، تسمّى سديماً كوكبيّاً planetary nebula يستمر في الاتِّساع بسرعة تقارب 20 ـ 30 كيلومتر/ثانية (45,000 – 67,000 ميل/ساعة). حتى إذا تمَّ ذلك، لم يبقَ من النجم إلا لبّه.

وقد رُصد بالفعل قرابة 1600 سديم كوكبيّ يُعتقَد على الأرجح أن أعمارها أقلّ من 50،000 سنة؛ آيةُ ذلكً سرعةُ انفصال ذرّات الغاز في السديم. وبعد مرور نحو 100،000 سنة تكون القشرةُ قد أمعنت في الاتّساع إلى حدٍّ بعيد جداً تختفي معه عن النظر.

انظرْ في الشكل 9.5، وحدِّد لبَّ النجم والسَّديمَ الكوكبيَّ على الصورة.

(أ) ....؛ (ب) ....

الجواب: (أ) السديم الكوكبي؛ (ب) لبّ النجم.



الشكل 9.5 السَّديم الحَلْقي المعروف في كوكبة الشلياق: سديمٌ كوكبيٌّ ولبٌّ نجميّ.

12.5 الأقزام البِيْض

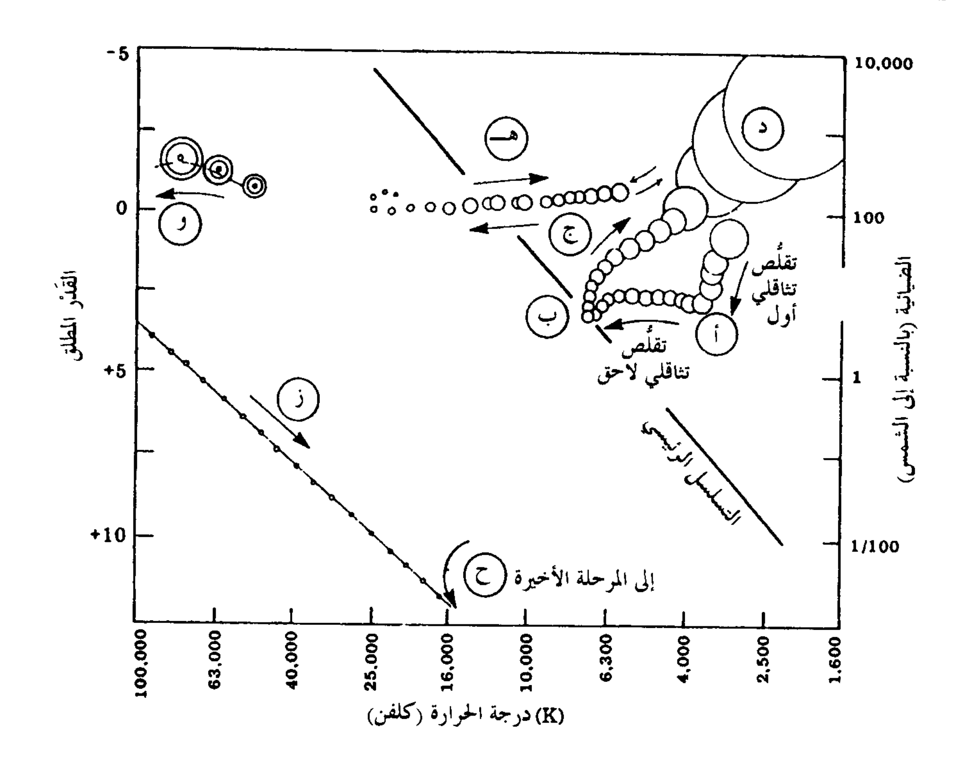
أَمَا وقد نَزَعَ النجمُ عنه غلافَه الغازيَّ، فإنه يبقى لبّاً من الكربون تكتنفه قشرةٌ من الهليوم الملتهب.

إن النجمَ الذي استَهلك كاملَ وقوده النووي عاد الآن غيرَ قادرٍ على الصّمود أمام قوة جذب الثقالة، فينكمش من جديد في الوقت الذي تجذب الثقالةُ المادةَ باتجاه المركز. هذا التقلُّص التثاقلي يُحدِث ارتفاعاً كبيراً في درجة الحرارة والضغط، وتُنْتَزَع الإلكترونات من الذرّات، فيؤول النجمُ إلى قزم أبيض white dwarf صغيرٍ وحارٍّ يتألف في معظمه من إلكترونات ونوى. يمكن ضغط هذه الجسيمات دون الذرّية بعضها إلى بعض على نحوٍ أكثر إحكاماً مما هو ممكنٌ في حالة ذرات كاملة.

أخيراً، وعندما يصير النجمُ القزمُ الأبيضُ مقارباً لحجم الأرض، يتعذَّر تقلُّصه أكثر من ذلك. وتتميَّز الأقزامُ البِيْض المقارِبة للشمس كتلةً بارتفاع كثافتها، لأن كامل تلك الكتلة يحتشد ـ بفعل قوة الثقالة ـ مرتصّاً ضمن حيِّز نجم بحجم الأرض. وقد وُجد أن قوةَ الثقالة على نجم قزم أبيضَ كهذا قد تكون أكبر 350،000 مرة منها على الأرض، فلو تسنّى لكَ ـ على سبيل الافتراض ـ الوقوفُ عليه لكان وزنُك هناك أكبر 350،000 مرة من وزنك على الأرض.

وقد يتولّد في هذه المرحلة أحياناً ما يسمى بـ المستعر nova، وهو نجمٌ ساطعٌ ملتهب. فإذا كان القزمُ الأبيضُ منتمياً إلى منظومةٍ ثنائية، فلربما سقطتِ المادةُ من نجمه الرفيق عليه، فأذكت ذلك اللهبَ الساطع القصيرَ الأمد.

يتبرَّد النجمُ القزمُ الأبيضُ تدريجياً، ويتغيَّر لونُه إلى الأحمر الكامد، مطلقاً آخر زفرات طاقته في الفضاء، ليتحوَّل من ثَمَّ إلى قزمٍ أسود black dwarf بائد في مقبرة الفضاء.



الشكل 10.5 مراحل حياة نجمٍ كالشمس.

ما هو القزمُ الأبيض؟ ....

....

....

الجواب: نجمٌ صغيرٌ كثيفٌ (محتَضَر) ذو ضيائيةٍ منخفضة ودرجةِ حرارةٍ سطحيةٍ عالية، حجمه يقارب في العادة حجم الأرض، إلا أن كتلته تعادل كتلة الشمس.

13.5 دورة حياة نجومٍ كالشمس

حدِّد مراحل حياة نجمٍ شبيهٍ بشمسنا، وفقاً للتتابع الموسوم بحروفٍ

في الشكل 10.5.

(أ) ....؛

(ب) ....؛

(ج) ....؛

(د) ....؛

(هـ) ....؛

(و) ....؛

(ز) ....،

(ح) ....

اشرح إجابتك.

الجواب:

(أ) نجمٌ أوَّلي وليد، تقلُّص ثقالي لسحابةٍ من الغاز الغبار؛

(ب) نجمٌ مستقرّ في التسلسل الرئيسي، يضيء بفعل الاندماج النووي (محوِّلاً الهيدروجين إلى هليوم)؛

(ج) تطوُّر إلى عملاقٍ أحمر عند تكوُّن لبّ الهليوم؛

(د) عملاقٌ أحمر، يضيء بفعل اندماج الهليوم؛

(هـ) نجمٌ متغيِّر، تكوُّن اللبّ الكربوني؛

(و) سديمٌ كوكبيّ، غلافٌ هيدروجيني غنيٌّ يُقذَف في الفضاء؛

(ز) قزمٌ أبيض، تُحشَد كامل الكتلة في نجمٍ بحجم الأرض تقريباً؛

(ح) قزمٌ أسود بائدٌ في الفضاء الكوني.

14.5 النجوم المنفجرة

تندثر النجومُ الكبيرة الكتلة، التي تتجاوز كتلتُها كتلةَ الشمس ثماني مرات على الأقل، اندثاراً مثيراً حقاً يفوق في روعته مشهدَ اندثار نجومٍ كالشمس. والمستَعِرُ الفائق supernova ما هو إلا انفجارٌ نجميٌّ ماحق [يؤذنُ بنهاية تطوُّر نجم].

يتقلَّص اللبُّ الكربوني لنجمٍ كبير الكتلة بتأثير قوة الثقالة، بالطريقة نفسها التي يتقلَّص بها اللبُّ الكربوني لنجمٍ أصغر كتلةً، سوى أنَّ درجةَ حرارة اللُّب في الحالة الأولى تواصل ارتفاعَها باطِّرادٍ إلى أن تبلغ 600 مليون كلفن، يبدأ اللبُّ الكربوني عندها بالانصهار. تتوقَّف عمليةُ الارتصاص[1] collapse بتحوُّل الكربون إلى مغنِزيوم في تفاعلات اندماجٍ نووي.

وعند استنفاد الكربون تبدأ دورةٌ جديدة: تقلُّصٌ تثاقليّ، وارتفاعٌ في درجة الحرارة، واستهلالُ تفاعلاتٍ نووية جديدة، وإنتاجُ عناصر جديدة، ثم توقُّفٌ في عملية الارتصاص. وتتولَّد عناصر أثقل من الكربون مثل الآزوت والسليكون داخل النجم إلى أن يصير اللبُّ في معظمه حديداً.

يضع الحديدُ نهايةً لهذه الدورات من التفاعلات النووية والارتصاص، ذلك لأنه لا يطلِق طاقةً في التفاعلات النووية، بل إنه يتطلَّبها. يرتصّ النجمُ الآيل إلى الاندثار آخرَ مرّة، إلى درجةٍ يصبح من المتعذِّر معها ضغطه أكثر من ذلك، فينفجر انفجاراً عنيفاً جداً، بحيث قد يتجاوز الضوءُ الصادرُ عن المستعر الفائق ضيائيةَ الشمس 100 مليار مرة، بل ربما فاق سطوعُ المستعر الفائق سطوعَ مجرَّته كلِّها لبرهةٍ قصيرة.

ويعتقد الفلكيون أن معظم الطاقة المحرَّرة من الانفجار غير مرئية، فينتقل جزءٌ كبيرٌ منها بسرعة الضوء عن طريق الإشعاع العالي الطاقة

(1) ارتصَّت الأشياءُ: انضمّ بعضُها إلى بعض [المعجم الوسيط] (المعرِّب)

والنيوترينوات الناشئة عن اللُّب المتداعي. تحمل هذه الطاقةُ دلالاتٍ عن مسبِّبات الانفجارات النجميَّة، وعن أنواع ومقادير العناصر الكيميائية التي تكوِّنها المستعراتُ الفائقة وتبثُّها في الفضاء.

ظهر المستعرُ الفائق 1987A، وهو أول مستعرٍ فائقٍ ساطعٍ يُرصد في السماء منذ اختراع المقراب، في سحابة ماجلان الكبرى Large Magellanic Cloud سنة 1987. وكان مرئياً من نصف الكرة الجنوبي لعدة شهور، وهو أفضل ما رُصد من مستعراتٍ فائقة حتى اليوم (الشكل 11.5). وقد كُشِفَ عن وجود نيوترينوات، تماماً كما توقَّعت الدراساتُ النظرية. ويرى العلماءُ أن درجةَ حرارة اللُّب عند الانفجار قد وصلت بالتأكيد إلى 200 مليار كلڤن! وهم يستفيدون من المعطيات المتاحة عن المستعر الفائق 1987A في تطوير نظريات اندثار النجوم، واختبار صحَّتها.

ما نوع النجوم التي تندثر مستعراتٍ فائقةً؟ ....

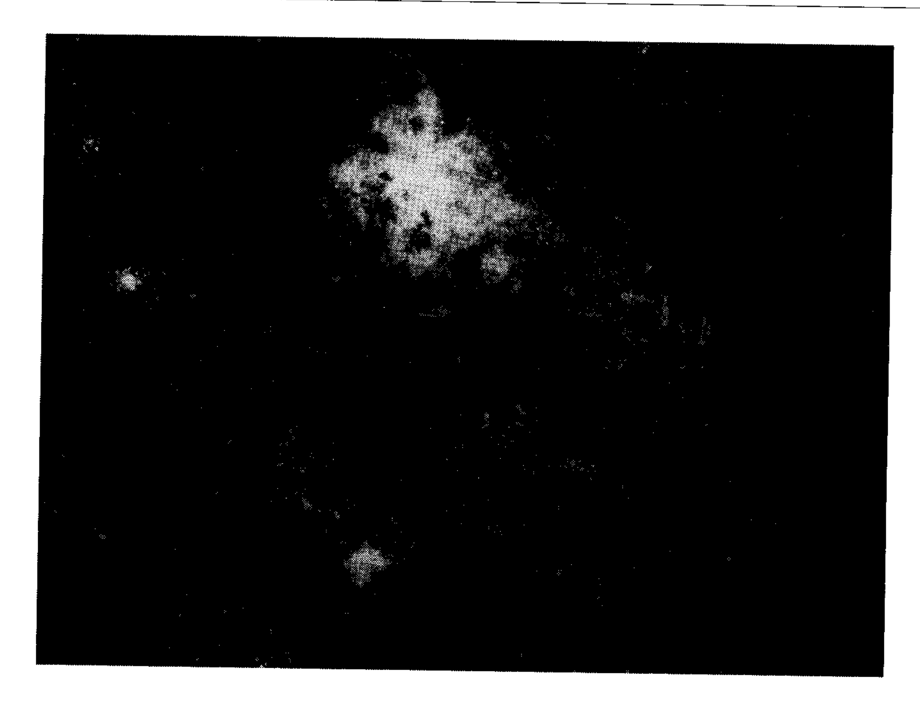
الجواب: النجوم المفرطة الكتلة (التي تفوق كتلتُها كتلةَ الشمس ثماني مراتٍ أو أكثر).

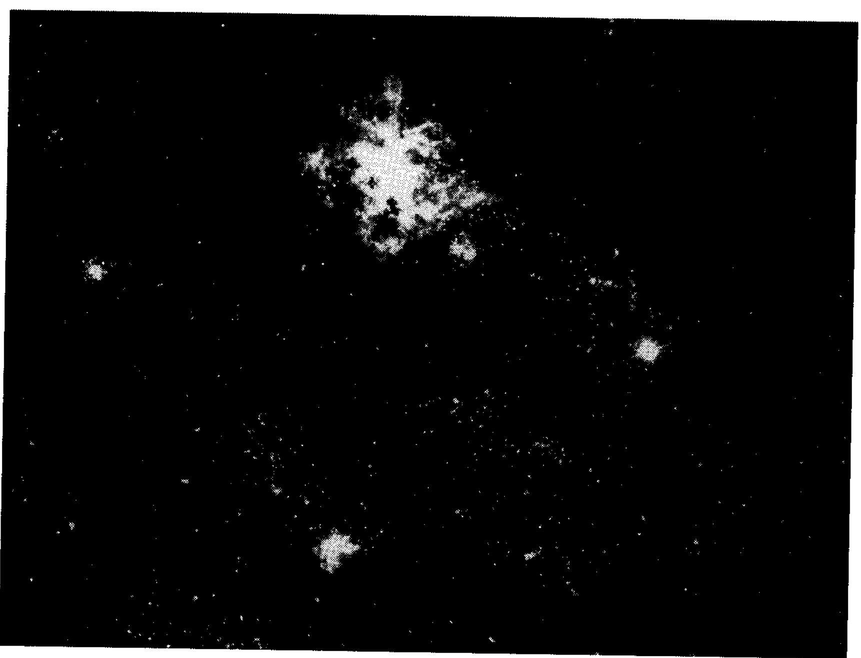
15.5 مخلَّفات المستعرات الفائقة

يمكننا أن نزعم أننا ـ نحن البشر ـ قد جُبِلْنا من غبارٍ نجميّ.

وربما كان الهيدروجين والهليوم هما العنصرين الوحيدين في الكون لدى نشوئه، في حين تتكوَّن العناصرُ الأخرى من مثل الكربون والأكسجين والآزوت (الضرورية للحياة) داخلَ اللُّبوب الناريّة الملتهبة للنجوم الهرِمة. أما أثقل العناصر كلِّها، كالذهب والرصاص، فتتولَّد في درجات الحرارة العالية جداً والدَّفقِ النتروني الكثيف لانفجار مستعرٍ فائق.

يَنشر انفجارُ المستعرِ الفائق كلَّ هذه العناصر الجديدة في الفضاء

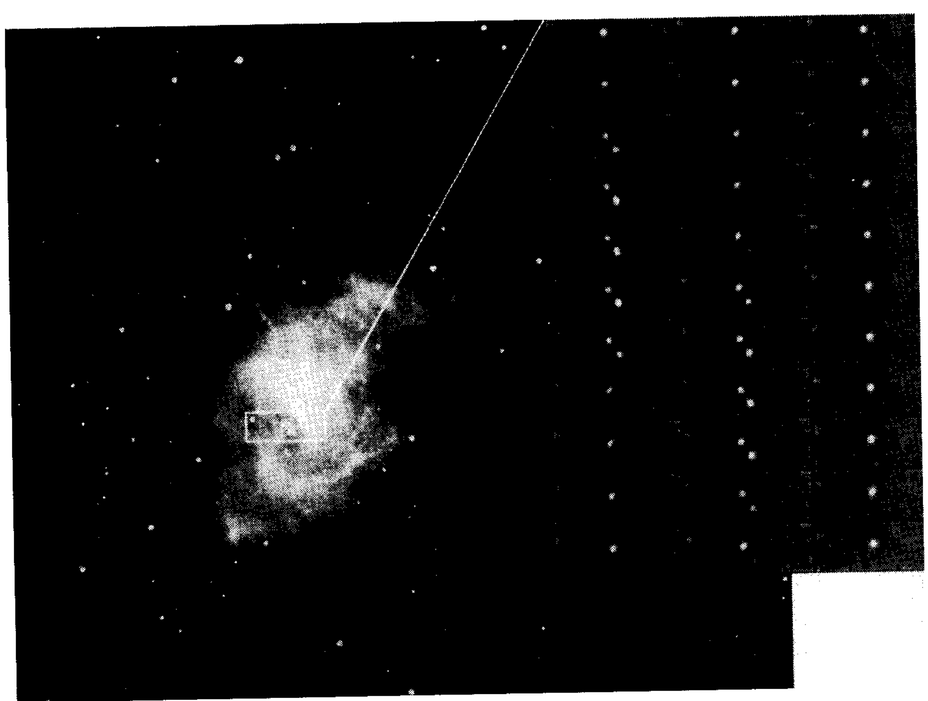




الشكل 11.5 المستعر الفائق 1987A (الصورة العليا) كما ظهر سنة 1969 قبل انفجاره، ثم (الصورة السفلى) بعد أسبوعٍ من انفجاره في شهر شباط (فبراير) سنة 1987.

الخارجي، فتمتزج بالهيدروجين والهليوم والغبار هناك. وتغدو المادةُ المتبعثرة في الفضاء بفعل انفجار نجومٍ كبيرة الكتلة مهيَّأةً من جديد للإسهام في تكوين نجومٍ جديدة وكواكب جديدة. إن الشمسَ والأرض قد تكوَّنتا منذ خمسة مليارات سنة من سحابة هيدروجين وهليوم تعزَّزت بهذه الطريقة.

في سنة 1054 أعلن راصدون صينيّون وأمريكيون أصليّون أنهم رأوا نجماً جديداً ساطعاً يتألق في السماء حتى في وضح النهار. إنها سديم السرطان Carb Nebula في كوكبة الثور Taurus، وهي سحابةٌ غازيةٌ تتمدَّد بمعدَّل 1600 كيلومتر (1000 ميل) في الثانية، وتشاهَد اليومَ في موقع ذلك المستعر الفائق، بقطرٍ يبلغ نحواً من 3 فراسخ فلكية (10 سنوات ضوئية)، علماً بأن اللبَّ المتخلِّف عن النجم المنفجر مازال في المركز (الشكل 12.5).



الشكل 12.5 سديم السرطان في كوكبة الثور، ويلاحَظ أن لُبَّ سَلَفِه النجم المنفجر مازال يومض عند المركز. المنطقة المكبَّرة هي مجموعةٌ مؤلَّفةٌ من 33 شريحة ميلي ثانية في دَوْر نبّاض السرطان.

أيُّ العناصر تعتقد أنها أكثر توفُّراً في الكون: أهي العناصر التي هي أخفّ من الحديد أم التي هي أثقل منه؟ ولماذا؟ ....

....

....

....

....

الجواب: العناصر التي هي أخفّ. لأن هذه العناصر متاحٌ لها زمنٌ أطول بكثير لكي تتكوَّن؛ فهي تنشأ من هيدروجين بدائي على مدى زمنٍ طويل داخل لُبُوب نجوم كبيرةِ الكتلة، في حين تتولَّد العناصرُ التي هي أثقل من الحديد خلال مدَّةٍ وجيزة، حينما ينفجر النجمُ (مستعراً فائقاً) في نهاية دورة حياته.

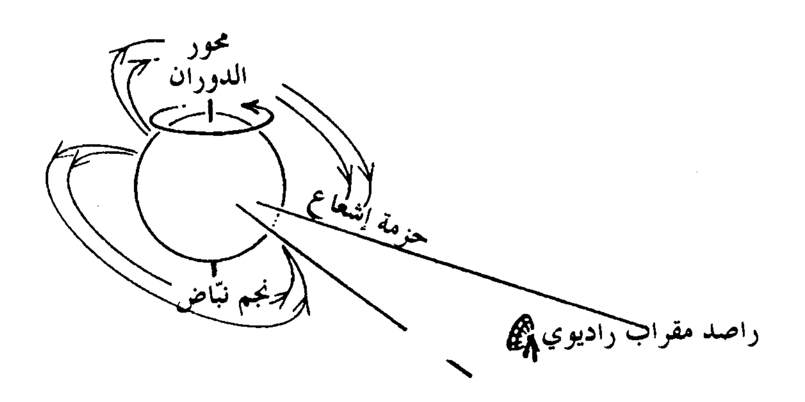
16.5 النجوم الفائقة الكثافة

عند انفجار نجم كبير الكتلة، قد يخلِّف نجماً أكبر كتلةً من الشمس، منضغطاً ومرصوصاً على شكل كرةٍ لا يتجاوز قطرُها 16 كيلومتراً (10 أميال). يتألف هذا النجمُ المفرط الكثافة بالدرجة الأولى من نترونات neutrons، أي من جسيماتٍ ذرّيةٍ غير مشحونة. لذلك سُمِّي نجماً نترونياً neutron star عندما افتُرِضَ وجودُه أوَّلَ مرة.

وتمكَّنت جوسلين بِلْ Jocelyn Bell (وهي طالبة دراساتٍ عليا في جامعة كامبريدج بإنكلترا) سنة 1967 من رصد نوعٍ نابضٍ من النجوم الراديوية أُطلق عليه اسم النجوم النبّاضة أو النبّاضات pulsars[1]، تُطْلِق دفقاتٍ نَشِطةً من

(1) من الكلمتين (pulsating = نبّاض) و (star = نجم). (المعرِّب)

الأمواج الراديوية إلى الأرض بإيقاعٍ منتظم شبيهٍ بإيقاع الساعة الميقاتية، بفواصل زمنيةٍ تقع بين الميلي ثانيةٍ وأربع ثوان. وقد رُصِد مئات من هذه الأجرام الغريبة حتى الآن (الشكل 13.5).



الشكل 13.5 النجم النبّاض أو النجم النتروني أصغر حجماً من أن يُرى. وما يرصده الفلكيون هو نبضاتٌ منتظمة من حُزَم إشعاعٍ تنبثق من القطبين المغنطيسيّين للنجم الدوّار لدى اقترابهما من الأرض.

تنبّأت الدراساتُ النظريةُ بوجود نجم نترونيٍّ في مركز سديم السرطان، علماً بأن نجماً نبّاضاً عُثر عليه هناك سَنة 1968 (الشكل 12.5). ومنذئذٍ ونبّاض السرطان Carb Pulsar يُرصَد على أطوال الأمواج الكهرطيسية كافةً: من الراديويّة إلى الغاميّة.

ويبدو النجمُ النبّاضُ نجماً نترونياً سريعَ الدوران، عالي المغنطيسيّة. وتنشأ نبضاتُه القصيرةُ والمنتظمة المميَّزة من حُزَم إشعاع تَصْدر عن جسيماتٍ مشحونةٍ متسارعة وعالية النشاط تمرّ قريباً من الأرض مع دَوَمان النجم بصورةٍ دورية. يُبطئ الدورانُ ومعدّلاتُ النبض تدريجياً مع انطلاق الطاقة.

ومن المهم أن نعلم أن النجمَ النبّاض أو النتروني هو أكثف جِرمٍ سماويٍّ رُصد حتى اليوم.

ماذا تقول في قوّة الثقالة على سطح نجمٍ نبّاض، مقارنةً بها على الأرض؟

....

....

الجواب: إنها أكبر بكثير على النجم النبّاض. تكون قوةُ الثقالة أقوى كلما كانت المادةُ مرتصَّةً، والنبّاضُ كثيفاً.

17.5 الثقوب السوداء

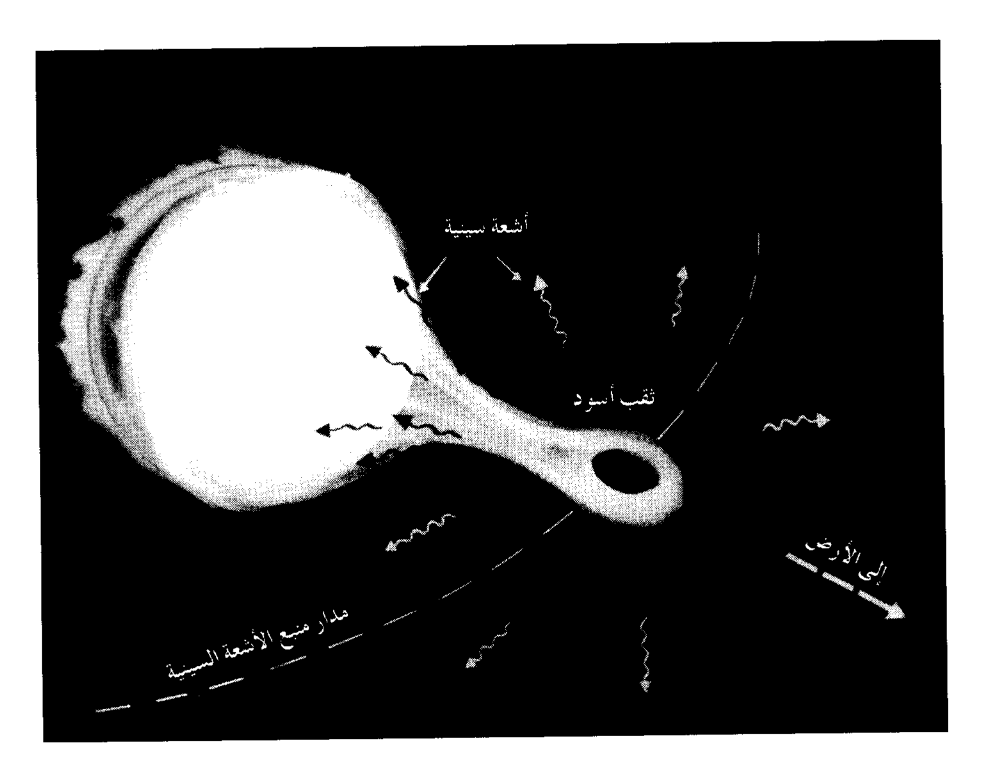
قد يستمر نجمٌ كبير الكتلة بالارتصاص بعد بلوغه مرحلة النجم النبّاض، فيصبح آنئذٍ جِرماً ناشزاً غريباً يسمّى الثقب الأسود black hole (الشكل 14.5).

والثقوبُ السوداء ـ إن وُجدت فعلاً ـ ليست ثقوباً على الإطلاق، بل نقيضَ ذلك: إنها كتلةٌ كبيرةٌ انكمشت إلى حجمٍ صغيرٍ جداً وكثافة عالية جداً. وطبقاً لنظرية أينشتاين النسبيّة، فإن قوةَ الثقالة في جِرمٍ كهذا كبيرةٌ جداً بحيث إنه قد يجتذب إليه كلَّ ما جاوره من مادّةٍ وضوء.

على أن الثقب الأسود لا يمكن أن يُرى أبداً، لأن قوة جذبه التثاقلي تجعل من المتعذِّر تماماً انفلاتَ أي ضوءٍ أو مادّةٍ أو إشارة مهما كان نوعها. ومن هنا اسمه. يُطلَق على سطح الثقبِ الأسود، أو على الحدِّ الذي لا يمكن لأي ضوءٍ التسرُّب من خلاله، اسم أُفُق الحدَث event horizon.

يُعرَف نصف قطر الثقب الأسود اليوم بشعاع شفارتزشيلد[1] Schwarzschild radius (Rs)، وهو نصفُ القطر الحَرِج الذي يتحوَّل عنده جِرمٌ

(1) نسبةً إلى عالِم الفيزياء الفلكية الألماني كارل شفارتزشيلد. (المعرِّب)



الشكل 14.5 ثقبٌ أسود كما تَصوَّره فنان.

كبيرٌ متناظرٌ كروياً إلى ثقبٍ أسود، وفقاً للمعادلة:

$$R_S = 2GM/c^2$$

حيث G هو ثابت التثاقل، M كتلة الجِرم، c سرعة الضوء (الملحق 2).

ويُذكر أن شعاع شفارتزشيلد للشمس يبلغ زهاء 3 كيلومترات (2 ميلان). وللأرض نحو 1 سنتيمتر (0,4 بوصة).

وتتنبّأ الدراساتُ النظريةُ أنَّ أيَّ نجمٍ تزيد كتلتُه على ثلاث كُتَلٍ شمسية عند آخر ارتصاصٍ له، لا بد من أن يَعْبُرَ أُفق حَدَثه ويختفي تماماً عن النظر. وليس ثمة أيُّ قوةٍ معروفةٍ تستطيع إيقاف مزيدٍ من الارتصاص، بحيث قد

يستمر النجمُ في التقلُّص إلى أن يستحيل نقطةً في المركز تسمى المتفرِّدة singularity .

تجدر الإشارة إلى أن المنبع المسمى بالدجاجة X-1 (Cygnus X-1) هو منبعٌ سينيٌّ شديد يبعد ما يزيد على 2500 فرسخ فلكي (8000 سنة ضوئية) في كوكبة الدجاجة. وقد اكتُشف سنة 1966، وهو نجمٌ ثنائيٌّ كَسُوف (دَوْرُه 5,6 أيام) يُعرَف بأن جزءه غير المرئي كان أوَّل ثقبٍ أسود تحدَّث عنه علماء الفلك. أما الجزء الرئيسي المنظور فهو نجمٌ فوق عملاق أزرق يبدي تغيُّرات في سِماتِه الطيفيَّة من ليلة إلى ليلة. ويُفترَض أن الثقب الأسود عندما يجتذب المادة تثاقلياً من رفيقه المرئي تَصْدُر عنه الأشعة السينيّة المرصودة.

ولا شك في أنك ستسمع المزيد عن هذه الثقوب السوداء المثيرة في المستقبل، بعد أن يستزيد العلماء في دراستها أكثر فأكثر.

ماذا يمكن أن يحدث لو أنَّ مركبةً فضائيةً منكودة الطالع مرَّت على مقربةٍ دانيةٍ من ثقبٍ أسود في الفضاء؟ ....

....

....

الجواب: ستنجذب المركبةُ إلى الثقب الأسود بفعل قوة الجذب التثاقلي العظيمة، وينجم عن ذلك قوةٌ مدمِّرة تتزايد بسقوط المركبة في الثقب، وسيؤدي ذلك إلى تحطُّمها حتماً.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الخامس وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عرِّف التطوُّر النجميّ ....

....

2. كيف يتحقّق علماء الفلك من صحة نظريةٍ في التطوُّر النجميّ؟ ....

....

....

....

3. اذكر المراحلَ الثلاث الرئيسية لولادة نجم.

(1) ....

(2) ....

(3) ....

4. ما هو مصدر الطاقةِ الرئيسيُّ الذي يجعل نجماً من التسلسل الرئيسي يضيء في الفضاء؟ ....

....

5. ما الخاصّية التي تحدِّد طولَ المدة التي تستغرقها النجومُ المتشابهةُ التركيب الكيميائي لكي تتطوَّر؟ ....

6. لماذا ستتوقف الشمسُ عن السطوع بصفتها نجمَ تسلسلٍ رئيسي، بعد

زهاء خمسة مليارات سنة من الآن؟ ....

....

....

7. عدِّد المراحلَ السبع الرئيسية لدورة حياة نجمٍ كشمسنا، بحسب ترتيبها منذ نشوئه وحتى يبيد.

(1) .... (2) ....

(3) .... (4) ....

(5) .... (6) ....

(7) ....

8. عدِّد المراحلَ السبعَ الرئيسية لتطوُّر النجوم الكبيرة الكتلة بحسب ترتيبها منذ النشأة وحتى الاندثار.

(1) .... (2) ....

(3) .... (4) ....

(5) .... (6) ....

(7) ....

9. لماذا كانت العناصرُ الكيميائيةُ (من قبيل الهيدروجين والهليوم والكربون والأكسجين) التي هي أخفُّ من الحديد أكثرَ توفُّراً في الكون إلى حدٍّ بعيد من العناصر التي هي أثقل من الحديد؟ ....

....

....

....

....

10. قابلْ كلاً من الحقول الثمانية التالية من نظرية التطوُّر النجمي بالجِرم السماوي الذي يناسبه.

(أ) موطن نشأة النجوم. (1) منكب الجوزاء في كوكبة الجبّار.

(ب) ثقبٌ أسود محتمَل. (2) سديم السرطان في كوكبة الثور.

(ج) عملاقٌ أزرق. (3) نبّاض السرطان في كوكبة الثور.

(د) نجمُ تسلسلٍ رئيسي. (4) منبع الدجاجة X - 1.

(هـ) نجمٌ نتروني. (5) الأعجوبة مايرا في كوكبة قيطس.

(و) نجمٌ متغيِّر نبّاض. (6) سديم الجبّار.

(ز) عملاقٌ أحمر. (7) الرِّجْل في كوكبة الجبّار.

(ح) مخلَّفات مستعر فائق. (8) الشمس.

11. ما هو الثقب الأسود؟ ....

....

....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدّدت أخطاؤك.

1. التغيُّرات التي تطرأ على النجوم بمرور الزمان عليها. أي دورة حياة النجوم.

   (الفقرة 1.5)

2. إنهم يضعون تصوُّراً لما قد يطرأ على النجوم من تغيُّرات في ضيائيَّتها ودرجة حرارتها بمرور الزمن، ثم يقارنون هذه المساراتِ النظريةَ للتطوُّر على مخططات H-R بمخططات H-R تمثِّل مجموعاتٍ نجميةً حقيقية.

   (الفقرة 1.5)

3. (1) التقلُّص التثاقلي لسحابة غازٍ وغبار؛

   (2) ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي؛

   (3) الاندماج النووي.

   (الفقرة 3.5)

4. تفاعلات الاندماج النووي في اللُّب (يتحوَّل الهيدروجين إلى هليوم).

   (الفقرتان 3.5 و 5.5)

5. الكتلة. (الفقرة 4.5)

6. سوف تغادر الشمسُ التسلسلَ الرئيسي عند استنفاد وقود الهيدروجين

المتاح في لبِّها عن آخره، فتصبح بدون مصدر طاقة داخلي.
(الفقرتان 6.5 و 7.5)

7. (1) نجمٌ أوَّليٌّ وليد؛ (2) نجمُ تسلسلٍ رئيسي؛
(3) عملاقٌ أحمر؛ (4) نجمٌ متغيِّر؛
(5) لفظ السديم الكوكبي؛ (6) قزمٌ أبيض؛
(7) قزمٌ أسود مندثر .
(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 13.5)

8. (1) نجمٌ أوَّليٌّ وليد؛ (2) التسلسل الرئيسي؛
(3) عملاقٌ أحمر؛(4) نجمٌ متغيِّر؛
(5) مستعرٌ فائق؛ (6) نجمٌ نبّاض/نتروني؛
(7) ثقبٌ أسود محتمل.
(الفقرات 3.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 و 16.5 و 17.5)

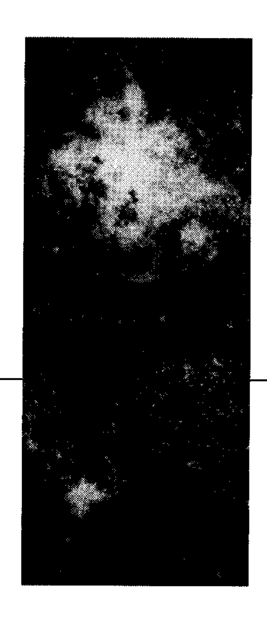
9. ربما كان الهيدروجين وبعض الهليوم هما العنصرين الأصليّين في الكون. وتتكوّن العناصرُ الأخرى التي هي أخفُّ من الحديد في باطن النجوم الهرمة على امتداد حقبةٍ من الزمن. أما العناصر التي هي أثقل من الحديد فتتكوَّن حصراً في أثناء المدة الوجيزة لمستعرٍ فائق.
(الفقرة 15,5)

10. (أ) 6؛ (ب) 4؛ (ج) 7؛ (د) 8 ؛ (هـ) 3؛ (و) 5؛ (ز) 1؛ (ح) 2.
(الفقرات 2.5 و 5.5 إلى 7.5 و 9.5 و 14.5 إلى 17.5)

11. كتلةٌ فائقة الكثافة، مرصوصةٌ ثقالياً، لا يمكن أن ينفلت منها أيُّ ضوءٍ أو مادةٍ أو إشارةٍ من أي نوع.(الفقرة 17.5)

6

المجرّات



في كتاب الطبيعة اللانهائي الغامض لا أستطيع أن أقرأ إلا النزر اليسير.

وليام شكسبير (1564 ـ 1616)
Antony and Cleopatra, I, ii: 11

الأهداف:

- تعريف المجرّة.
- تقديم الدليل الرصدي على شكل مجرّة درب التبانة، وحجمها، وبنيتها، ومحتواها، وتكوُّنها، ثم تمثيلها تخطيطياً لإبراز موقع الشمس منها.
- مقايسة الحشود (المجرّية) المفتوحة بالحشود الكريِّية.
- إجمال طريقة استعمال مخطَّطات H-R لتحديد أعمار الحشود النجميَّة.

- بيان محتوى الوسط البينجميّ.
- مقايسة سُدُم الإصدار بسُدُم الامتصاص.
- شرح طريقة رسم خرائط لمجرَّتنا في مناطق أطوالٍ موجيَّة مختلفة.
- تعرُّف أبعد الأجرام السماوية المرئية بالعين المجرَّدة.
- إجراء مقارنة بين خصائص المجرّات اللولبية والإهليلجية وغير المنتظمة.
- تقويم الدليل على نموذجَيْن مختلفَيْن لتكوُّن المجرّات وتطوُّرها.
- تعريف حشد المجرّات والحشد الفائق.
- إقامة الدليل الرصدي على البنى الواسعة النطاق في الكون.
- مقارنة خصائص مجرَّةٍ نظامية بخصائص مجرّاتٍ نَشِطَة.
- إيراد المميِّزات المرصودة للكوازرات، وتقديم نموذجٍ يوضِّحها.

1.6 المنظومات النجمية ✪

المجرَّة galaxy تجمُّعٌ عظيمٌ من ملايين، بل مليارات، النجوم، ومن الغاز والغبار، تتماسك جميعاً بفعل قوة الثقالة.

تنتمي شمسُنا وكلُّ النجوم المرئية في سمائنا إلى مجرَّة درب التبّانة Milky Way Galaxy التي قد تراها شريطاً غائماً من الضوء عبر السماء في ليلةٍ مظلمةٍ صافية الأديم. أَطلق عليها القدماءُ اسم الطريق اللبنيَّة أو درب اللَّبّانة لأنها تبدو للناظر كأثرٍ منسَحِبٍ لِلَبَنٍ مسفوحٍ في السماء، زعموا أن آلهةً أراقته وهي تُرضِع وليدها. وواقع الأمر أن ذاك الشريطَ اللبنِيَّ هو حصيلةُ وهج مليارات النجوم في هذه المجرّة الهائلة (الشكل 1.6).



الشكل 1.6 مشهدٌ لمجرَّتنا درب التبّانة قرب مركزها في كوكبة القوس. سُحُبُ الغاز والغبار، والأعدادُ الوافرة من النجوم، تحجب اللُّبَّ المجرِّيَّ عن أنظارنا.

حاوِلْ بنفسك تحديدَ موقع المجرّة في السماء صيفاً أو شتاءً. ويحسن - إن أمكن - استعمالُ منظار أو مقراب، لترى أنها مؤلَّفةٌ بالفعل من أعدادٍ كبيرةٍ من النجوم الساطعة.

تضمُّ مجرَّةُ درب التبّانة كلُّها ما يزيد على 200 مليار نجمٍ، تفصل أحدَها عن الآخر مسافةٌ شاسعة؛ فقد وُجد أن متوسط البُعد بينَ نجمَيْن متجاورَيْن في المجرّة لا يقلُّ عن 5 سنوات ضوئية.

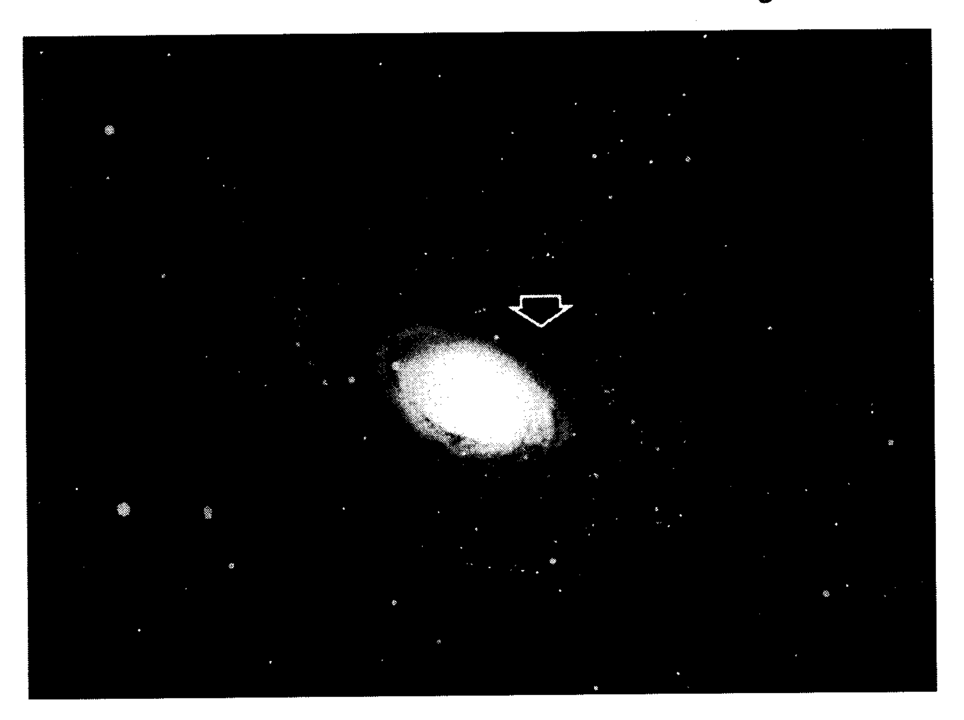
ما هي المجرَّة؟ ....

....

الجواب: تجمُّعٌ هائلٌ من نجومٍ وغازٍ وغبار، يتماسك في الفضاء بفعل قوة الثقالة.

2.6 مجرَّة درب التبّانة

لمّا كان ارتباطنا وثيقاً بالشمس، التي تقع داخل مجرَّة درب التبّانة الهائلة، يتعذَّر علينا التقاطُ صُوَرٍ فوتوغرافيةٍ لمجرَّتنا من خارجها. فنحن نستعمل صُوَراً فوتوغرافيةً لمجرّات نائية لتعيننا على إدراك شكل مجرَّتنا من الفضاء (الشكل 2.6).



الشكل 2.6 المجرَّة اللولبيّة M81 (NGC 3031) في كوكبة الدبّ الأكبر تشبه مجرَّتنا درب التبّانة. يشير السَّهم إلى حيث يُفترض أن يكون موقع الشمس والأرض لو كانت هذه هي مجرَّتنا.

فلو كان بمقدورك أن تُبْحِرَ بعيداً في أعماق الفضاء الفسيح، لرأيتَ مجرَّتنا على شكل عَجَلة هوائية pinwheel لولبيّة لامعة بقُطر نحو 100،000 سنة ضوئية (30،000 فرسخ فلكي)، بحيث تقع الأرضُ ـ الطوّافةُ حول الشمس ـ في واحدة من أذْرُعها اللولبية.

ولو استطعتَ النظرَ إلى المجرّة من جانبها، لَبَدَتْ لك قرصاً رقيقاً نيِّراً منتفخَ المركز. تبلغ ثخانةُ الانتفاخ النووي nuclear bulge المركزي هذا نحواً من 10،000 سنة ضوئية (3000 فرسخ فلكي)، في حين تبلغ ثخانةُ القرص زهاء 3000 سنة ضوئية (1000 فرسخ فلكي). وتبعد الشمسُ عن مركز المجرّة قرابة 30،000 سنة ضوئية (9000 فرسخ فلكي) (الشكل 3.6).



الشكل 3.6 صورةٌ بالأشعة تحت الحمراء للنجوم والسُّحُب الغازية التي تؤلِّف قرصَ مجرَّة درب التبانة، التقطها الساتل الرَّبوطي الأمريكي المسمى مستكشف إشعاع الخلفية الكوني (COBE). تقع الأرضُ والشمسُ عند الحافة الخارجية للقرص، على بُعد 30،000 سنة ضوئية من مركز المجرَّة. النقاطُ الساطعةُ خارج القرص هي نجومٌ قريبةٌ من الشمس. (يمتد قرصُ المجرَّة بعيداً وراء موقعنا).

تدور المجرَّةُ برمَّتها في الفضاء الكوني؛ يُستَدَلُّ على ذلك من انزياح دوبلر الإشعاعي في الأذرع اللولبية. وتجري الشمسُ - مع مجموعتها من الكواكب - حول مركز المجرَّة بسرعة 250 كم/ثا (563،000 ميل/ساعة) تقريباً، وهي سرعةٌ فائقة لا تكاد تصدَّق كما ترى، ومع ذلك تحتاج المنظومةُ الشمسية إلى نحو 250 مليون سنة لإتمام دورة واحدة فقط!

وتبدو مجرَّتنا مندفعةً عبر الفضاء باتجاه كوكبة الشُّجاع Hydra بسرعة تتجاوز 600كم/ثا (مليون ميل/سا).

لو كان في قدرتك أن تَعْبر المجرَّةَ محلِّقاً من طَرَفٍ إلى طرف بسرعة الضوء، فكم يمكن أن تستغرق رحلتك؟ ....

الجواب: 100،000 سنة.

طريقة الحل: اقسم المسافةَ (قطر المجرَّة = 100،000 سنة ضوئية) على السرعة (سنة ضوئية في السنة).

3.6 مواقع النجوم ✪

لما كانت مجرّتنا من النوع اللولبي spiral، فإن معظم نجومها يتجمّع في نواةٍ nucleus مركزية وفي أذرعٍ حلزونية تَصْدر عنها.

وفي حين تنتقل بعضُ النجوم عبر المجرّة فرادى، فإن أعداداً كبيرةً منها تتحرّك في حشودٍ نجميّة star clusters، وهي مجموعاتٌ من النجوم تبقى متكتّلةً بسببٍ من الجذب التثاقلي المتبادل في ما بينها. تتكوّن هذه الحشود ظاهرياً عند تكاثُف سحابة غازيّة عملاقة متحوِّلةً إلى نجوم كثيرة. ولعلّ أهميتها الكبيرة للفلكيين تتمثَّل في أنّ كلَّ النجوم المتباينة الكُتلة في الحشد ذات عُمر واحد تقريباً. وحسبنا دليلاً على المنشأ الحشديّ للنجوم السُّحُب الجزيئيّةُ المحتوية على مئات الآلاف من الكتل الشمسية.

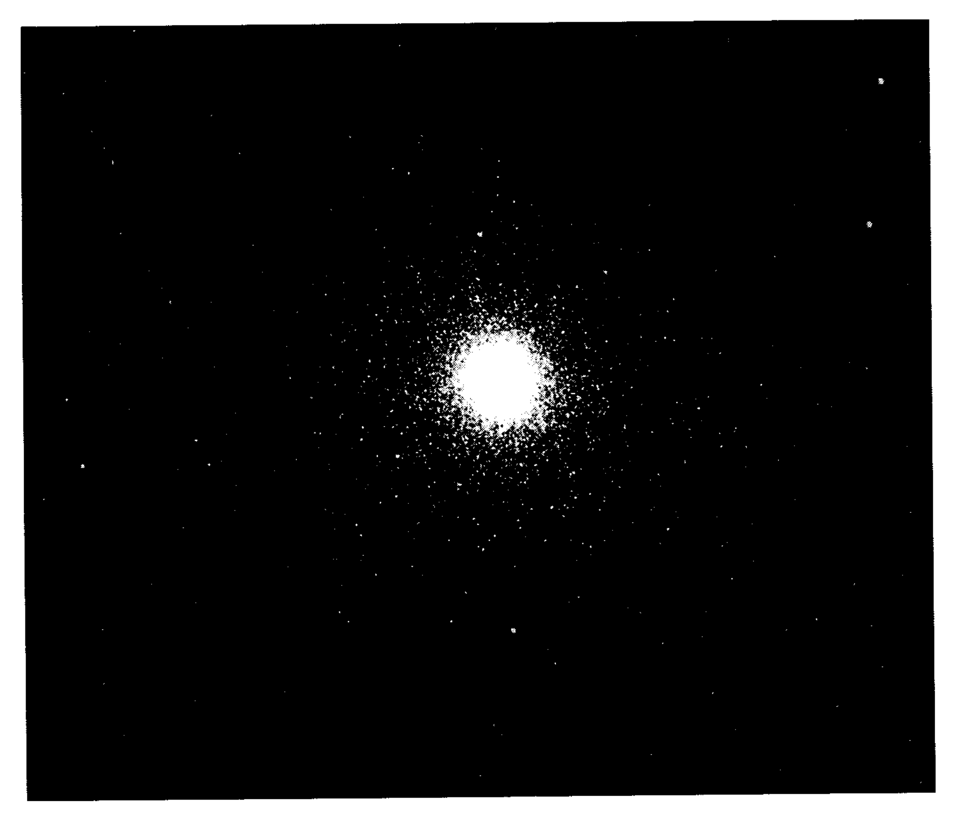
وقد رُصِدَ فعلاً أكثر من ألف من الحشود (المجرّية) المفتوحة open (galactic) clusters ، التي يَضمُّ كلٌّ منها أعداداً من النجوم المتخلخلة تقع بين 10 نجوم و 10،000 نجم. تتحرك النجومُ معاً ضمن قرص المجرّة، وتتركّز الحشودُ المفتوحةُ بكثافة في الأذرع اللولبية، وتكون نجومُها فتيّةً نسبياً، وحارّةً عاليةَ الضيائية في أغلب الأحيان (الشكل 4.6).



الشكل 4.6 الحشد النجميّ المفتوح المسمى بالثريّا Pleiades (M45) في كوكبة الثور، يُرى بالعين على شكل مجموعة من ستة نجوم خافتة، علماً بأنه يضمّ مئات النجوم. يبعد 400 سنة ضوئية. لاحِظ الوهج الذي يَكتنف النجوم: إنه غبارٌ بينجمي يتألّق بانعكاس ضوء النجوم عليه.

ثمّةَ جزءٌ صغيرٌ من النجوم يكون على شكل حشودٍ كُرَيِّيّة globular clusters ضمن هالة halo، وهي منطقةٌ كرويّة الشكل تحيط بالقرص. وقد رُصد نحو 150 حشداً كريّياً يضمُّ كلٌّ منها أعداداً من النجوم المتراصّة تقع

بين 100،000 إلى مليون نجم. يجدر بالذكر أن هذا النوع من الحشود يحتوي على أقدم النجوم المعروفة (الشكل 5.6).



الشكل 5.6 الحشد النجميُ المسمّى 47 طوقان (NGC 104) في كوكبة الطوقان، هو ثاني أسطع حشدٍ كريّي، يقع على بُعد 13،000 سنة ضوئية، ويضمّ لبُه عدداً من النجوم المتَطَوّحة الزرقاء المحيِّرة. يبدو للعين كنجمٍ من القَدْر الخامس.

على أنّ بعضَ الحشود الكريِّيَّة يضمُّ أيضاً عدداً صغيراً من نجوم مبهَمَة تسمّى المُتَطَوِّحاتُ الزرق blue stragglers، ذات لون أزرق لاقياسي، وضيائيةٍ عالية. تبدو هذه النجومُ أشدَّ حرارةً وأكثَرَ فتوّةً من سائر نجوم الحشد.

اذكر ـ بالاستعانة بالجدول 1.6 ـ ثلاثة فروق بين الحشود (المجرّية) المفتوحة والحشود الكريّية الموجودة في مجرّتنا.

(1) ....

(2) ....

(3) ....

الجواب: الحشود (المجرّية) المفتوحة توجد في القرص المجرّيّ، وهي فَتيّةٌ نسبياً، وتضمُّ عدداً صغيراً من النجوم. أما الحشود الكريّيّة فتوجد في الهالة المجرّية، وهي هرمةٌ نسبياً، وتضمُّ عدداً كبيراً من النجوم.

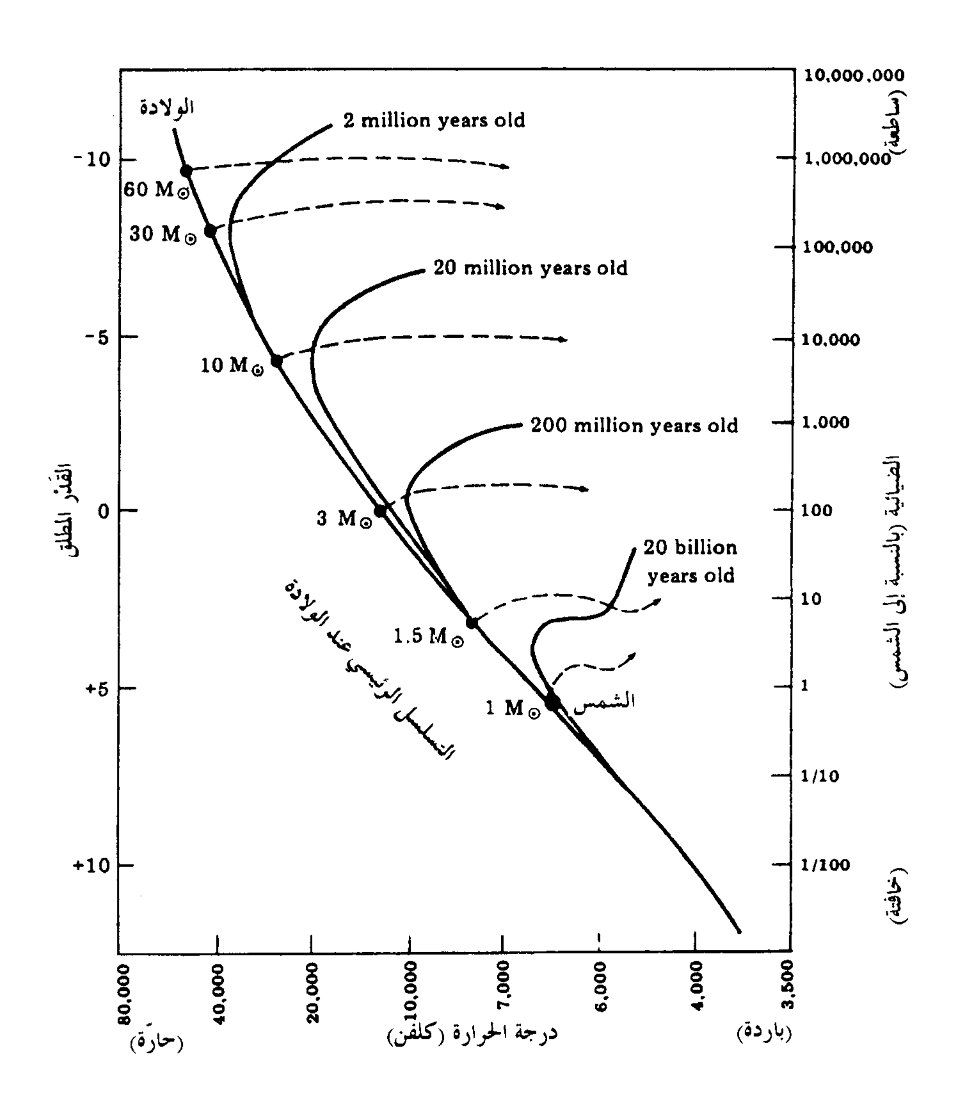
الجدول 1.6 بعض خصائص الحشود النجمية المفتوحة والكريّية

	الحشود (المجرّية) المفتوحة	الحشود الكريّة
الموقع	القرص المجرّي	الهالة المجرّية والانتفاخ النووي
القطر	دون 100 سنة ضوئية	أكثر من 100 سنة ضوئية
العُمر	فَتيّة نسبياً	هَرِمَة
عدد النجوم	حتى 10،000	حتى 1 مليون
لون أسطع النجوم	أزرق أو أحمر	أحمر

4.6 تحقُّق صحة النظريات

توفِّر الحشودُ النجميّةُ أفضلَ المعطيات للاستيقان من صحة نظريات التطوّر النجميّ. فتُرسَم أولاً مخطّطات H-R استناداً إلى تصوُّراتٍ نظريةٍ لنجوم متباينة الأعمار، ثم تُرسَم مخططات H-R لحشودٍ نجميّة مرصودة فعلاً. تقارَنُ المخططاتُ النظريةُ والعمليةُ بغية إقرار النظرية أو دحضها.

والشكل 6.6 تمثيلٌ لمسارات تطوُّرٍ متوقّعة، مستمدَّة من تصوُّرات نظرية. فتبدأ النجومُ كلُّها على التسلسل الرئيسي عند ولادتها، بحيث تقع أكبرُ النجوم كتلةً في أعلى التسلسل الرئيسي، وأصغرها كتلةً في أسفله.



الشكل 6.6 الخطوط المتَّصلة تمثِّل مواقعَ النجوم ضمن حشود مختلفة. تشير نقطةُ الانحراف بعيداً عن التسلسل الرئيسي إلى عُمر الحشد. الخطوط المتقطِّعة تمثِّل مسارات تطوُّر نجومٍ إفرادية مع ذكر كُتَلها. ($M\odot$ = كتلة الشمس).

وتتطوَّر كلُّ النجوم مبتعدةً عن التسلسل الرئيسي كلما طالَ عليها الأمد وأَسَنَّتْ. وإذا علمنا أن النجومَ الكبيرةَ هي أسرعُ النجوم تطوّراً، أدركنا أنه كلما ارتفعت نقطة الانحراف كان الحشد النجميّ أكثر فتوَّة.

قارِن مخطَّطَيْ H-R لحشد الثريا المفتوح (الشكل 7.6) والحشد الكريّيّ M3 (الشكل 8.6) بمسارات التطوّر النظرية (الشكل 6.6). استنتج أيّ الحشدَيْن (أ) فتيّ نسبياً ....؛ (ب) هَرِمٌ نسبياً ....‌. علِّلْ ما توصَّلتَ إليه ....

....

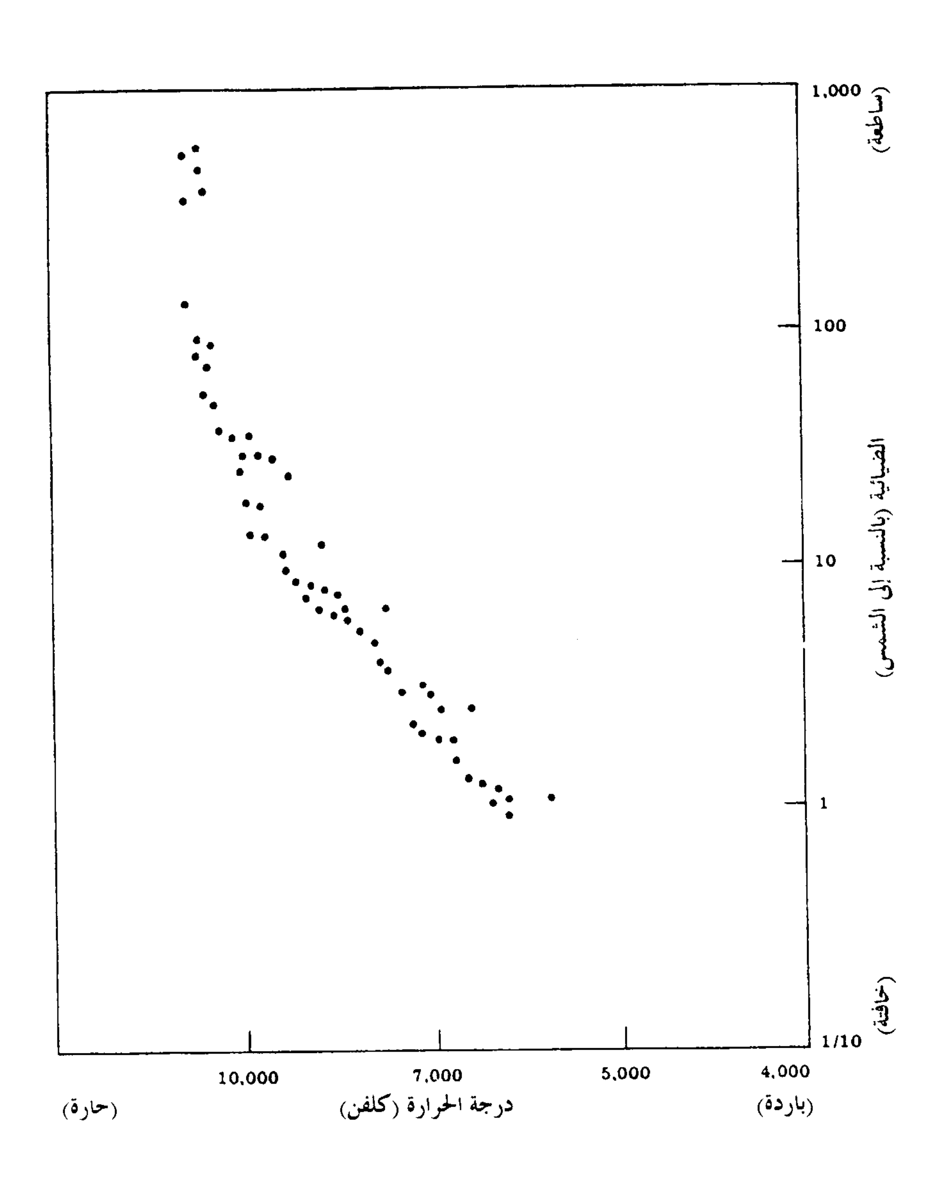
الجواب:

(أ) حشد الثريا فتِيٌّ نسبياً؛ فمعظم نجومه، حتى الكبيرة الكتلة القصيرة العمر منها، مازالت على التسلسل الرئيسي. (وُلِد حشدُ الثريا منذ نحو 70 مليون سنة خلت).

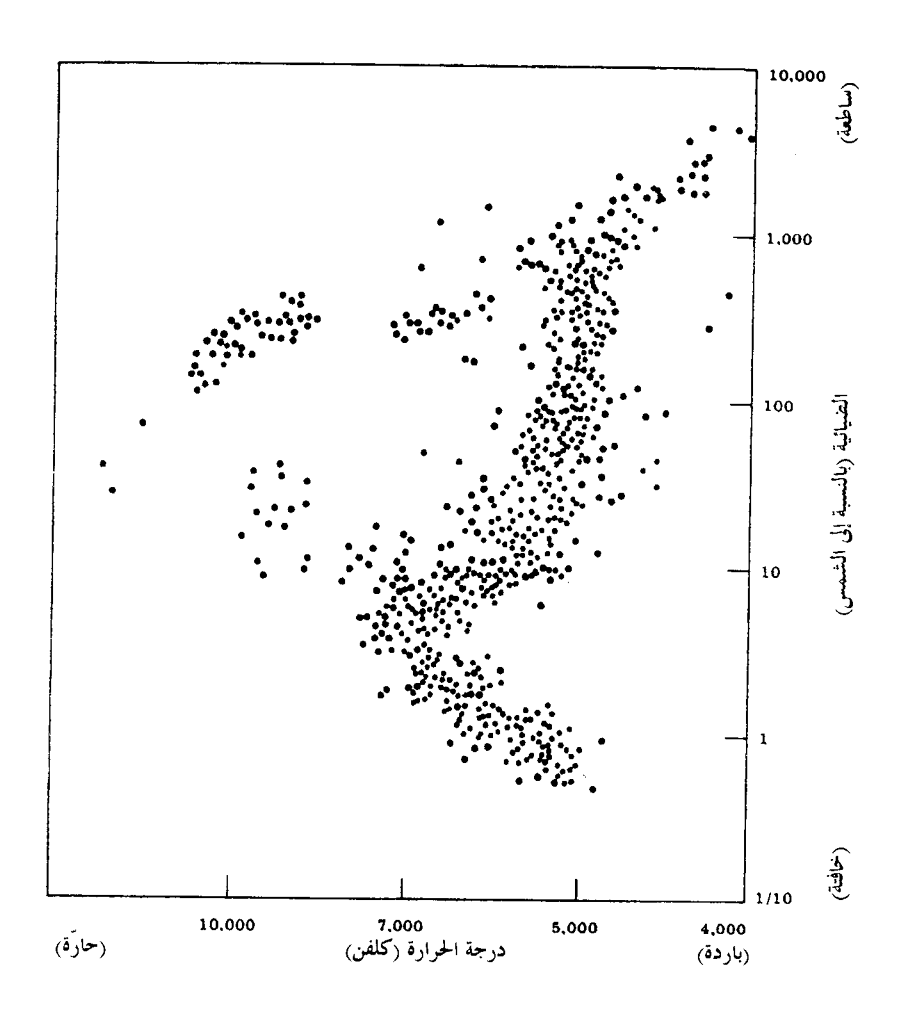
(ب) الحشد M3 هَرِمٌ نسبياً؛ فلا يكاد نجمٌ من نجومه يظهر على النصف العلوي من التسلسل الرئيسي. بل إن كثيراً منها انتقل نحو اليمين إلى منطقة العمالقة الحُمر. (يبلغ عُمر الحشد M3 زهاء 10 مليارات سنة).

5.6 الكتلة

سادَ الاعتقاد ـ حتى عهد قريب ـ بأن معظم كتلة وضيائية أيِّ مجرّةٍ نظامية normal galaxy كمجرّتنا يتركَّز في نجومٍ من قبيل تلك القريبة من الشمس، التي تبلغ كتلتها 2×10^{30} كغ. وتوحي الحركاتُ التثاقليةُ المرصودةُ، للنجوم والغازِ والمجرّاتِ ضمن الحشود اليوم، بأن معظمَ الكتلةِ في الكون هي على صورةٍ ما، لم يُكشَف النقاب عنها بعدُ، تسمّى المادةَ القاتمة (الخفيّة) dark matter. وعلى ذلك فإن المجرّةَ المرئية قد تكون



الشكل 7.6 مخطَّط H-R لحشد الثريا (المجرِّي) المفتوح.



الشكل 8.6 مخطّط H-R للحشد الكُرَيّ M3.

محاطةً بـ هالةٍ مَجَرِّية galactic halo غير مضيئة هي أكبر حجماً وكتلةً.

كم تتوقّع أن تكون كتلةُ مجرّة درب التبانة بكاملها لو كانت هذه الكتلة محتشدةً في نجومٍ كشمسنا؟ (استعِنْ بالعدد التقريبي لنجوم مجرَّتنا من الفقرة 1.6) ....

....

الجواب: أكثر من 200 مليار ضعف كتلة الشمس، أو ما يزيد على 4×10^{41} كغ. (ملاحظة: تبلغ كتلة مجرَّة درب التبانة 400 مليار مرة كتلة الشمس على الأقل. وقد تكون أكثر من هذا بكثير في حال وجود المادة القاتمة).

6.6 ما بين النجوم

إن الحيِّز الفضائي بين النجوم هو فراغ على وجه العموم، إلا أنّ الأحوالَ الموضعية تتفاوت كثيراً. فهناك ما يسمى الوسط البينجميّ interstellar medium، ويشمل المادةَ والإشعاع اللذين يتخلّلان النجوم، وهي في الأغلب أقلُّ كثافةً من الهواء في مناطق الفراغ المتولِّد على الأرض.

وتُعَدّ المادةُ البينجميّة interstellar matter ذاتَ أهميّةٍ خاصة، لأنها تمثِّل المادةَ الأوَّليّةَ للنجوم والكواكب الوليدة. ويؤلِّف الغازُ قرابةَ 99 في المئة من تركيبها (75 في المئة تقريباً من هذه الكتلة الغازية هو هيدروجين، و 23 في المئة منها هليوم)، والغبارُ البَيْنجميُّ interstellar dust (جسيماتٌ صُلبةٌ غاية في الدقة) نسبةَ 1 في المئة. ويُذكَر أن معظم الغاز والغبار البينجمي في مجرَّتنا متركِّز في أذرعها اللولبية، حيث تتوضَّع أحدث النجوم.

تُعزَّز السُّحُبُ الغازية والغبارية باستمرار بالمادة التي تلفظها المستعرات الفائقة والرياح النجميّة. فمنطقة H I (H I region) هي سحابةٌ متوسطةُ الحرارة ذات هيدروجين ذرّي محايد، ومنطقة H II (H II region) هي سحابةٌ متأيِّنةُ الهيدروجين قرب نجومٍ حارّة جداً.

وقد كُشِفَ ما يزيد على 100 جزيءٍ بينجميّ interstellar molecules، إضافة إلى الهيدروجين، في سُحُب جزيئية molecular clouds عملاقة كثيفة وقاتمة وباردة. وإن تعجب فعجبٌ وجود بخار الماء والجزيئات العضوية الشائعة التي تؤلِّف المركبات الأساسية لكلّ أنماط الحياة على الأرض؛ وقد أثار اكتشافُها في الفضاء تساؤلات مثيرةً حقاً عن منشأ الحياة في الكون.

لماذا كان من المهم - في نظرية التطوُّر النجميّ - معرفة تركيب المادة البينجميّة في كل حقبة زمنية؟ ....

....

الجواب: لأن المادةَ البينجمية هي المادةُ الأوَّلية للنجوم والكواكب الوليدة.

7.6 سُحُبٌ عظيمة ✪

استُعملتْ كلمة nebula (لاتينية بمعنى «سحابة») تاريخياً للدلالة على مختلف أنواع الرُّقَع الضبابية في السماء؛ ويشمل ذلك الكثيرَ مما يُعرف اليوم بأنه حشودٌ نجميّةٌ أو مجرّات. ومازالت الكلمةُ مستعملةً في بعض الأحيان للتعبير عن أيِّ تَجمُّعٍ غازيٍّ وغباريّ[1].

فسديم الإصدار emission nebula الساطع، أو منطقة H II، سحابةٌ تتألّق بامتصاص الضوء من النجوم الفتيَّة الحارّة المجاورة، ثم إصداره من جديد. وسديم الجبّار Orion Nebula مثالٌ معروفٌ يمكنك رصده (الشكل 1.5).

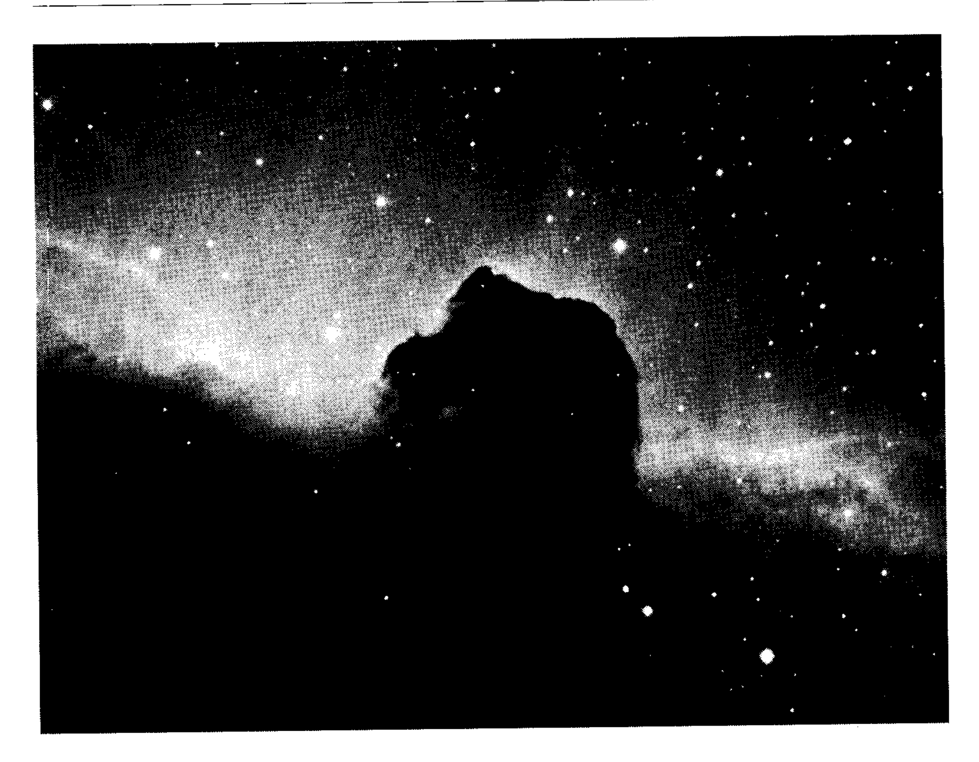
وسديم الامتصاص absorption nebula القاتم، أو السحابة الجزيئية، تجمُّعٌ كثيفٌ نسبياً من مادة بينجميّة يَمتصُّ غبارُها ضوءَ النجوم أو يبعثره، فيخفي بذلك النجومَ التي خلفه فلا نكاد نراها.

يُطلَق على بعض السُّدُم أسماء خياليةٌ معبِّرةٌ عن مظهرها. فمِمَّ يتألف سديم «رأس الحصان» في واقع حاله (الشكل 9.6)؟ ....

....

الجواب: من كُتَلٍ مركَّزة كثيفة نسبياً من غبارٍ بينجميّ.

(1) لعلّ كلمة «سديم» هي الترجمة العربية الدقيقة لكلمة nebula. (المعرِّب)



الشكل 9.6 سَديم رأس الحصان (NGC 2024) في كوكبة الجبّار سديمٌ قاتمٌ معروف، يقع على بُعد أكثر من 1000 سنة ضوئية.

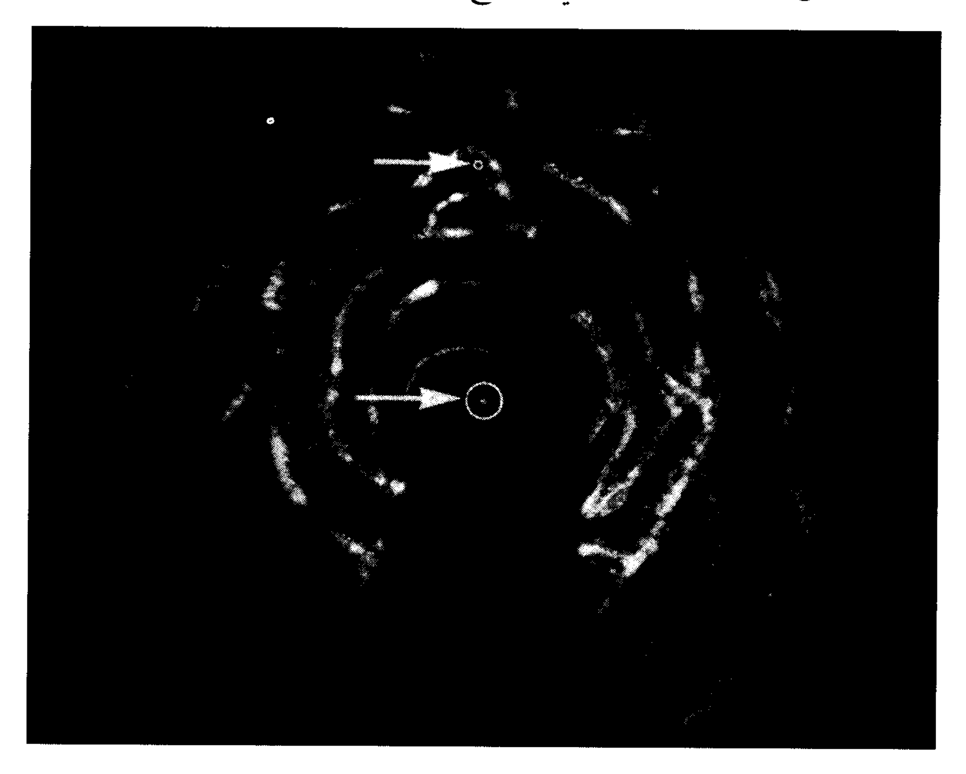
8.6 مسح مجرَّتنا

يتعذَّر علينا النظرُ في أعماق مجرَّتنا درب التبانة لأكثر من نحو ألف سنة ضوئية من معظم الاتجاهات، حتى باستعمال أعظم المقاريب البصرية وأحدثِها، وذلك بسبب السُّحُب الغبارية التي تحجب المشهدَ عنّا.

ويستعين علماءُ الفلك بالأمواج الراديوية وتحت الحمراء والأمواج العالية الطاقة، التي تستطيع النفاذ من هذه السُّحُب، لتصوير ما يتجاوزها من الفضاء.

تُمسَح البنيةُ اللولبيّة لمجرَّتنا عن طريق كشف أمواج راديوية ذات طول موجيٍّ يبلغ 21 سنتيمتراً. يَصدر إشعاعُ الـ 21 سنتيمتراً 21 - centimeter

radiation هذا عن ذراتٍ متعادلةِ الهيدروجين، وتكون قوَّتُه أعظميةً من أكثر المناطق غنىً بهذه الذرات، وهي الأذرع اللولبية (الشكل 10.6).



الشكل 10.6 خريطة راديوية تُظهِر البنيةَ اللولبية لمجرَّتنا، وهي من إنتاج مرصد لايدن Leiden من أرصادٍ لِخَطِّ الـ 21 سنتيمتراً. الدائرة الكبيرة تحدِّد موقعَ مركز المجرَّة، والدائرة الصغيرة تحدِّد موقع منظومتنا الشمسية فيها.

وتُمسَح السُّحُب الغازيةُ الكبيرةُ الحارّة بالكشف عن إصدارٍ راديويٍّ متواصل continuous radio emission بدلاً من طولٍ موجيٍّ معيَّن. وينشأ هذا الإصدار المتواصل عن كُتَلٍ مركَّزة من الغاز المُثار في مناطق H II الحارّة.

ليس في إمكان المقاريب الراديوية إظهارُ تجمُّعاتِ الهيدروجين البالغةِ الكثافة، في السُّحُب الجزيئية القاتمة الباردة؛ ففي هذه المناطق تتَّحد ذراتُ الهيدروجين لتؤلِّف جزيئات هيدروجينية. لذلك يَمْسَح علماء الفلك الراديوي

أكثفَ التجمُّعات الغازيّة بمعاينة خط إصدارٍ قويٍّ لأول أكسيد الكربون. أما الهيدروجين الجُزَيئي - الذي لا يُصدِر الإشعاعَ الراديويَّ ولا يمتصُّه - فيُرصَد عند الأطوال الموجيّة تحت الحمراء وفوق البنفسجية.

ومع ظهور معطياتٍ جديدة، تتعدَّل تصوُّراتنا الفلكية باستمرار. فمن بين الأرصاد المثيرة بنوعٍ خاص ما يظهر عند الأطوال الموجيّة فوق البنفسجية من أكاليل نجميّة وغازٍ بالغ الحرارة بين السُّحُب، فضلاً على المنابع السينيَّة المتفجِّرة X-ray bursters، وهي نجومٌ سينيَّة تبدي تغيُّراتٍ عشوائيةً عنيفةً في إصداراتها، وكذلك ما يسمى منابع أشعة غاما gamma ray bursters، وهي منابع تُطلِق دفقاتٍ عابرةً من الإشعاع الغامي الآتي من اتجاهات عشوائية في الفضاء.

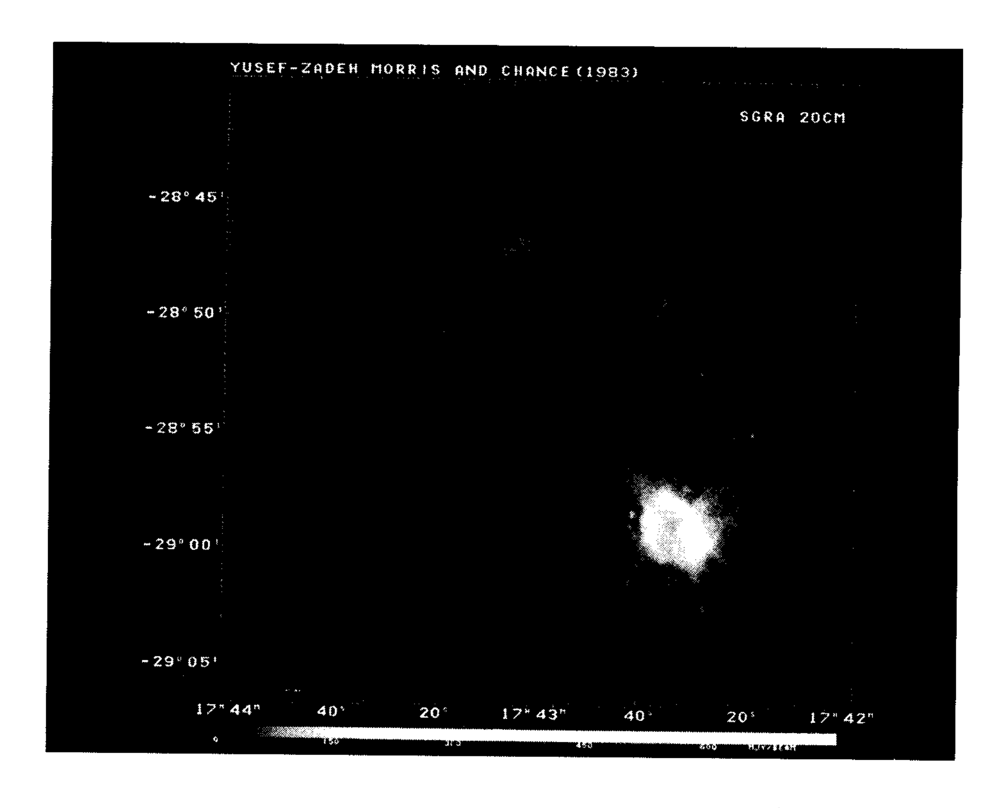
تحتوي نواةُ مجرَّتنا في ما يبدو على جسم متراصٍّ كبير الكتلة وغير اعتيادي، تحيط به سُحُبٌ غازيّةٌ وغباريّةٌ حارّةٌ جداً ومشوَّشة. ومن المحتمل أن يكون هناك ثقبٌ أسود هائل، أو حشدٌ نجميٌّ كثيفٌ ومضيءٌ يغذّي التدفُّقَ الغازيَّ والضيائية المركزيَّتَيْن. وبسقوط المادة نحو الداخل باتجاه المركز، تنضغط وتتسخَّن إلى ملايين الدرجات، مولِّدةً الأشعةَ السينيّة المرصودة (الشكل 11.6).

وإذا صحَّ أنّ لمجرَّتنا بِنْيَةً لولبيةً عَصَويّة barred spiral structure، كما تدلّ بعضُ الأرصاد فعلاً، فإنّ معدَّل السقوط قد يكون أسرع بكثير منه في البنية اللولبية النظامية؛ وفي هذه الحالة تحدث انفجاراتٌ نجميةٌ عنيفةٌ تنشأ عنها أعدادٌ كبيرةٌ من النجوم الشديدة السطوع والجسيمة الكتلة.

ما المثير بنوعٍ خاص في مناطق التجمّعات الغازية الكثيفة نسبياً في مجرّتنا؟

....

الجواب: تكوُّن النجوم في هذه المناطق.



الشكل 11.6 صورةٌ راديوية في اتجاه مركز مجرَّة درب التبانة.

9.6 جَمْهَرَتا النجوم

في سنة 1944 قسَّم عالِمُ الفلك الأمريكي وولتر باده Walter Baade (1893-1960) النجومَ عموماً إلى صنفَيْن (جَمْهرتَيْن). وأثبتَ تصنيفُه ذاك - وإن كان مبسَّطاً إلى حدٍّ بعيد كما يقول العلماء اليوم - أنه ذو فائدةٍ في تفسير آلية ارتباط النجوم والمجرّات بعضها ببعض من حيث أعمارُها وديناميَّتُها وتوليد العناصر فيها.

فنجوم الجمهرة I (Population I) تضمُّ أعلى النجوم حرارةً وضيائية. وتقع هذه النجومُ الفتيَّةُ نسبياً في قرص المجرَّة، ولاسيما في الأذرع اللولبية، مندسَّةً في الغبار والغازات التي تكوَّنت منها. وتتميَّز بغناها النسبي بالعناصر

الثقيلة (كالشمس، زهاء 1 في المئة من الكتلة)، إضافة إلى عنصرَي الهيدروجين والهليوم.

أما نجوم الجمهرة II (Population II)، كتلك الواقعة في الحشود الكريِّيَّة، فتوجد بالقرب من النواة المجرّية وفي الهالة. هذه النجوم أقدم عمراً، وتكاد تتألَّف بالكليّة من الهيدروجين والهليوم.

كيف تفسِّر نظريةُ التطوُّرِ النجميِّ الفارقَ بين نجوم الجمهرتَيْن I و II؟ ...

....

....

....

الجواب: نجوم الجمهرة II هي أقدم النجوم، تكوَّنت من الهيدروجين الأصلي والهليوم، اللذين كانا متاحَيْن عند ولادة مجرَّة درب التبانة. أما نجوم الجمهرة I ففتيَّةٌ، تكوَّنت في زمنٍ متأخِّر من الغبار والغاز، في الفضاء الغنيّ بالعناصر التي تولَّدت في النجوم، ونشرتها المستعراتُ الفائقةُ في فضاء الكون.

10.6 نشأة مجرَّتنا

تكوَّنت مجرَّتنا في ما يبدو منذ 10 ـ 20 مليار سنة خلت، ربَّما بعد بداية الكون ببضع مئات ملايين السنين، إذ يبلغ عُمر أقدم النجوم نحو 13 ـ 18 مليار سنة.

من النماذج الرائجة حول نشأة مجرَّتنا ما يقال إنها نشأت في سحابةٍ كونيَّة دوَّارة مضطربة تتألف من الهيدروجين والهليوم. ثم ارتصّت السحابةُ إلى بنيةٍ متلاحمة عندما تجاوزَ الجذبُ الداخليُّ للثقالة في نهاية الأمر الضغطَ الخارجيَّ. بعد ذلك عملت قوى ضغط الغاز والإشعاع والدوران والثقالة

جميعاً على تطويع مجرَّتنا لتتَّخذ شكلها الحالي.

مِمَّ تتألف (أ) أقدم النجوم و(ب) أحدث النجوم في مجرَّتنا بمقتضى هذا النموذج لنشأة المجرّة؟ فصِّل إجابتك ....

....

....

....

....

الجواب: (أ) من الهيدروجين والهليوم، وهما العنصران اللذان توافرا كمواد أوَّلية حين كانت المجرَّةُ حديثةَ التكوُّن. (ب) من الهيدروجين والهليوم، إضافةً إلى 90 عنصراً آخر تولَّد بحكم الطبيعة. إن الوسط البَيْنجميّ، الذي هو بمنْزلة المادة الأوَّلية للنجوم الوليدة، تألَّف أصلاً من الهيدروجين والهليوم، ثم تعزَّز بعناصر أخرى قَذَفَتْها المستعِراتُ الفائقة والرياحُ النجمية.

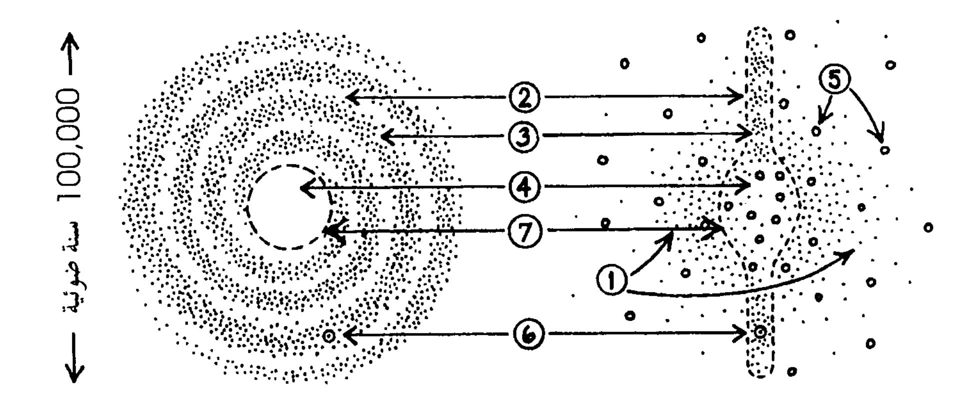
11.6 بنية مجرَّة درب التبَّانة

تلخيصاً لبعض ما عرفتَ عن مجرَّة درب التبانة، استعِنْ بالشكل 12.6 وحدِّدْ عليه ما يأتي: (أ) قرص المجرَّة ....؛ (ب) هالتها ....؛ (ج) ذراعها اللولبية ....؛ (د) نواتها ....؛ (هـ) موقع الشمس والأرض منها ....؛ (و) موقع الحشود الكريِّيَّة منها ....؛ (ز) انتفاخها النووي ....

الجواب: (أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 3؛ (د) 4؛ (هـ) 6؛ (و) 5؛ (ز) 7

12.6 ما وراء مجرَّة درب التبّانة ✪

حتى سنة 1924 لم تكن تُعرَف من المجرّات غير مجرّتنا. ثم طَلَعَ



الشكل 12.6 تصوُّران تمثيليان لمجرَّة درب التبانة.

العالِمُ الفلكيُّ الأمريكي إدوين هَبلْ Edwin Hubble (1889 ـ 1953) ليحلِّل المتغيِّرات القيفاوية، وليدلِّل على أن بعضَ «السُّدُم» الضبابية التي كانت تُرصد ما هي في الواقع إلاّ مجرّات نائية.

ولعل من المناسب في هذا السياق الإشارة إلى الدليل العام الجديد New General Catalog (NGC) للأجرام الفلكية اللانجميّة، الذي نُشِرَ أوَّل مرة سنة 1888 على هيئة لائحة تضمُّ 7840 جِرماً سديمياً، وضعها العالِمُ الفلكيّ الدانمركي يوهان دراير Johann Dreyer (1852 ـ 1926). وُسِّعَ هذا الدليل سنة 1895 بنشر ملحق لَه يحمل عنوان «الدليل الفهرست" Index Catalog (IC)، ثم وُسِّع ثانيةً سنة 1908 في ملحقٍ آخر هو «الدليل الفهرست الثاني» Second Index Catalog. وقبل ذلك نُشِر «دليل مسّييه» Messier Catalog الذي يشتمل على 110 من السُّدوم والحشود النجميّة والمجرّات (انظر الملحق 6 في نهاية الكتاب)، علماً بأنه نُشر أولاً هو الآخر على شكل لائحةٍ لـ 45 جِرماً سماوياً ضبابياً، وَضَعَها سنة 1784 الفلكيُّ الفرنسي شارل مسّييه Charles Messier (1730-1817)، متوخّياً تجنُّب الوقوع في خطأ عَدِّها مذنَّبات جديدة.

ونحن نعتقد اليوم أن الكون مليء بالمجرّات، إذ ربما وُجد منها فيه نحو 100 مليار مجرّة، تضمُّ كلٌّ منها عموماً أكثر من 100 مليار نجم. وتُعْرَف معظم المجرّات الساطعة برقم خاصٍّ بها في الدليل العام الجديد (NGC)، أو في الدليل الفهرست (IC)، أوَ في دليل مسّييه (M).

من المجرّات القريبة من مجرّتنا سحابتا ماجلاّن: مجرّتان صغيرتان غير منتظمتَي الشكل هما: سحابة ماجلان الكبرى Large Magellanic Cloud (LMC) في كوكبة الطوقان Tucana، وسحابة ماجلان الصغرى Small Magellanic Cloud (SMC) في كوكبة «أبو سيف» Dorado. تتماسك هاتان السحابتان بقوة الجاذبية، وتبعدان زهاء 169،000 سنة ضوئية (52،000 فرسخ فلكي) و210،000 سنة ضوئية (60،000 فرسخ فلكي) على الترتيب. وقد استُدِلَّ على بُعد السحابة الكبرى بنسبة 5 في المئة من أرصاد تتعلّق بالحلقة الإهليلجيّة المطيفة بالمستعر الفائق 1987 A (الشكل 13.6)، التي لفَظَها النجمُ السَّلَفُ حينما كان عملاقاً فائقاً أحمر.

يمكن رؤيةُ سحابتَيْ ماجلان بالعين المجرّدة من نصف الكرة الجنوبي. وكان أول من رصدها المستكشف البرتغالي فرديناند ماجلان Ferdinand Magellan (نحو 1480 ـ 1521) في أثناء رحلته التاريخية حول العالم. تنتمي السحابتان كلتاهما إلى منظومة تقع داخل غلاف هيدروجينيٍّ هائلٍ غير مرئي جرى كشفه عند الطول الموجي 21 سنتيمتراً.

على أن أقرب المجرّات الشبيهة بدرب التبانة هي مجرّةُ المرأة المسلسلة Andromeda Galaxy، (M31, NGC 224)، غير أن كتلتها تبلغ ضعفَيْ كتلة مجرّتنا (الشكل 14.6). وهي ـ في حساب الفلكيين ـ أقصى جِرمٍ سماويٍّ؛ إذ إنها تبعد نحو 2,5 مليوني سنة ضوئية (670،000 فرسخ فلكي)، وتستطيع رؤيتها بعينك المجرّدة، أو بمقراب صغير مزوَّد بجهاز تسديد خاص. ما عليك إلا أن تبحث ـ في فصل الخريف ـ عن رقعة ضبابية من



الشكل 6 . 13 المستعر الفائق A 1987 (في المركز) وحلقته في سحابة ماجلان الكبرى من كوكبة الطوقان.

الضوء في كوكبة المرأة المسلسلة Andromeda constellation (وهي معلَّمةٌ بـ O GALAXY في خرائطك النجميّة).

لكي ندرك معنى «القُرب» في قولنا «مجرّات قريبة»، قدِّرْ كم مجرّة كدرب التبانة يفترض أن تتراصف إحداها بجانب الأخرى بيننا وبين أقرب جيراننا مجرَّة أندروميدا ....

الجواب: 25.

طريقة الحل:

$$\frac{\text{المسافة إلى مجرة أندروميدا}}{\text{قطر مجرة درب التبانة}} = \frac{2{,}500{,}000 \text{ سنة ضوئية}}{100{,}000 \text{ سنة ضوئية}} = 25$$

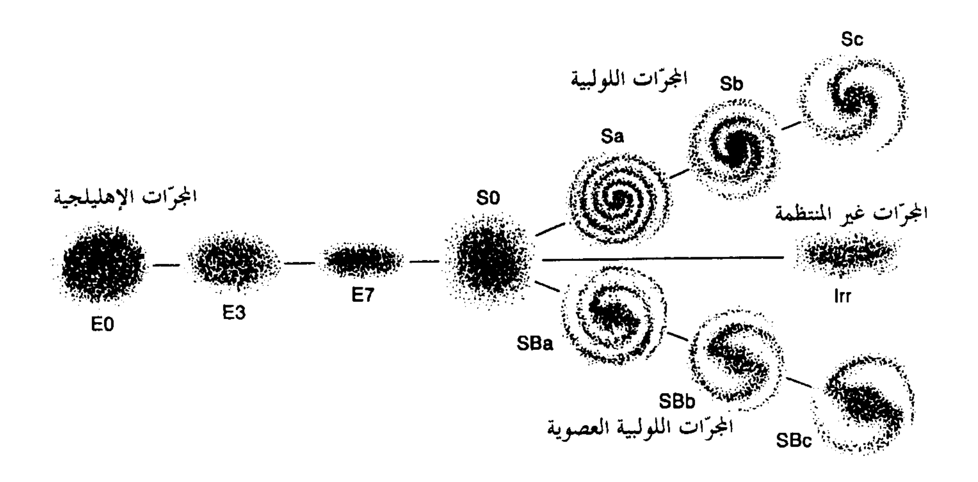


الشكل 14.6 صورةٌ فوتوغرافية لمجرَّة المرأة المسَلسَلة (أندروميدا)، مع رفيقَيْها الساطعَيْن NGC 205 (الأعلى) و M32 (الأسفل)، التُقطت بمقراب قياس فتحته 1,2 م (48 بوصة). وهي مجرَّةٌ لولبيةٌ أكبر من مجرَّتنا، وتحوي مليارات النجوم.

13.6 تصنيف المجرّات

للمجرّات أشكالٌ وحجومٌ مختلفة، كان إدوين هَبلْ أوَّلَ من صنَّفَها سنة 1926 في مجموعات تبعاً لبِناها (الشكل 15.6).

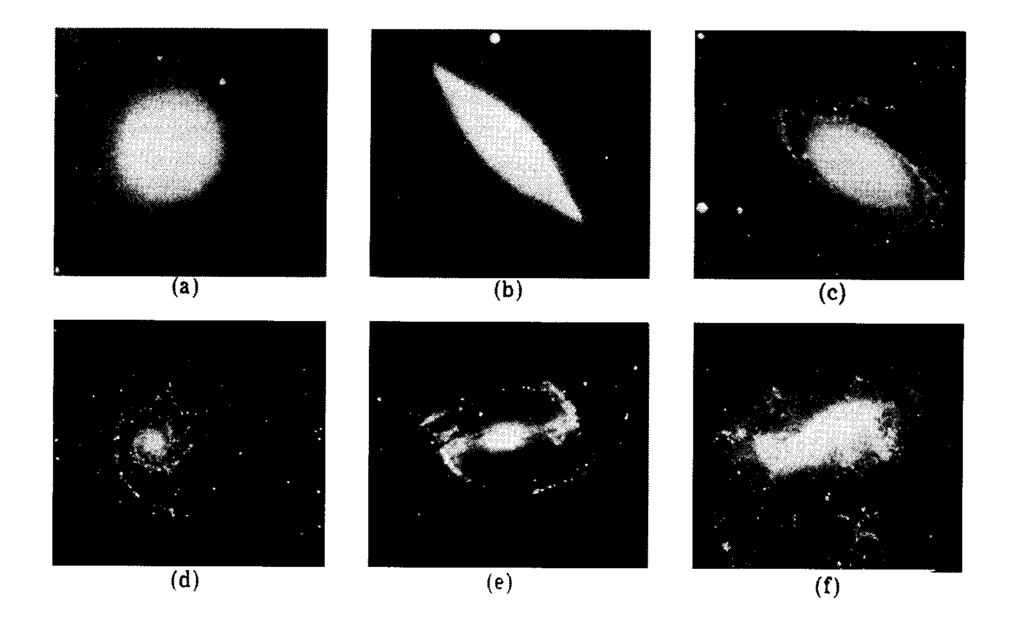
فالمجرّات الإهليلجية elliptical galaxies (ويُرمَز إليها بالحرف E) بيضويةُ الشكل. وهي تتدرَّج في الشكل من كُرات شبه تامة (E0) إلى كروانيّات أكثر تسطّحاً (E7). تضمُّ المجرّاتُ الإهليلجية نجوماً هرمةً في الغالب الأعم. وهي، وإن لم تُبْدِ من الغاز والغبار المرئي إلا النَّزر اليسير، تُظهِر في الواقع وجودَ قدر منهما عند رصدها بالأشعة السينيّة وتحت الحمراء.



الشكل 15.6 تصنيف هَبلْ للمجرّات تبعاً لأشكالها، مرتَّبةً في رسمٍ تخطيطيّ له شكل الشوكة الرنّانة.

والمجرّات اللولبية spiral galaxies تتفرّع إلى صنفَيْن رئيسيَّين. فالمجرّات اللولبية النظامية normal spiral galaxies (S) لها قرصٌ ساطع، حيث تلتفُّ الأذرعُ اللولبيةُ بدءاً من نواةٍ منتفخة. وهي بدورها تتفرّع إلى Sa و Sb و Sc بحسب حجمِ الانتفاخ المركزيّ، ودرجةِ إحكام التفاف الأذرع اللولبية. يُرمز لتلك المجرّات ذات الأقراص المسطحة الساطعة والعديمة الأذرع بالحرفين SO. والمجرّاتُ اللولبية العَصَويّة barred spiral galaxies (SB) مظهرها شبيهٌ بالمجرّات اللولبيّة النظامية، سوى أن أذرعها تسترخي اعتباراً من نهايات تجمُّع مركَّز من المادة ذي شكلٍ عَصَويّ. وتحتوي المجرّاتُ اللولبية عموماً على كميات كبيرة من الغاز والغبار في أقراصها، وعلى نجومٍ فتيّة وكهلة وهرمة كذلك.

أما المجرّات غير المنتظمة irregular galaxies (Ir) فليست ذات شكل هندسيّ منتظم، وتحتوي في العادة على غازٍ وغبار، وعلى نجومٍ فتيّة ساطعة في معظمها، وسُحُبِ غازٍ متأيِّن، وقليلٍ من النجوم الهرمة.



الشكل 16.6 نماذج من مجرّات مختلفة الأصناف.

باشرَ هَبلْ دراساتِه المنهجيَّةَ على المجرّات النائية، مستعملاً مقرابَ ماونْتْ ويلسون Mount Wilson telescope الذي بلغ قياس فتحته 2,5 م (100 بوصة)، وكان أكبر مقاريب العالم ما بين سنتي 1918 و1938. واليوم يضيف علماءُ الفلك معطيات مدهشةً حقاً؛ فقد اكتشفوا المجرّاتِ العَدَسيّة lenticular galaxies (SO) التي تَتَّخذ شكل العدسة، والتي لها أقراصٌ مجرِّيّة، ولكنها عديمةُ الأذرع اللولبية أو التكوّن النجميّ الحديث العهد. واكتشفوا أيضاً المجرّات القزمة dwarf galaxies، وهي مجرّاتٌ صغيرةٌ منخفضة الكتلة والضيائية، وأكثر أنواع المجرّات شيوعاً.

صنِّفْ كلاًّ من المجرّات الواردة في الشكل 6.6 وفقاً لأشكالها..

(أ) ....؛ (ب) ....؛ (ج) ....؛

(د) ....؛ (هـ) ....؛ (و) ....

الجواب: (أ) E0؛ (ب) E7؛ (ج) Sb؛ (د) Sc؛ (هـ) SBb؛ (و) Ir.

14.6 الخصائص المَجرِّيَّة

إن بُعدَ أيِّ مجرَّة هو مفتاحُ تحديد خصائصها الأساسية. لكن إجراء هذه القياسات فعلياً أمرٌ جِدُّ عسير ومازال مشكوكاً في دقَّته الكاملة. وتنطبق هذه الشكوك أيضاً على تحديد المعطيات المجرّيّة الأخرى.

ما السبيل إذن لقياس المسافات إلى المجرّات؟ يمكن استعمال الشمعة العيارية standard candle، أي الجِرم الفلكي الذي يُعرَف قَدْره المطلق من صفاته المرصودة، لتحديد تلك المسافات إلى بُعدٍ يقارب 10 ملايين سنة ضوئية. من الشمعات العيارية المفيدة نذكر المتغيِّرات القيفاوية، وأعلى النجوم ضيائيةً، والحشود الكريِّيَّة، والمستعرات الفائقة، ونماذج المجرّات القياسية.

على أن من غير السهل معايرة الشمعة العيارية؛ لذلك تقوم بعض التقنيات الحديثة على الربط بين عرض الخطِّ الطَّيفيّ ودرجة ضيائية مجرّةٍ لولبية، بغية تعيين القَدْر المطلق والبُعد.

وبمعرفة بُعدِ المجرَّة، يمكن حساب قطرها ودرجة ضيائيتها من قَدْرها الظاهري وقطرها الظاهري.

وتُحسَب كتلتُها من الآثار التثاقلية المرصودة على النجوم والسُّحُب الغازية الموجودة بداخلها، أو على المجرّات القريبة منها. وتدلّ معطياتٌ رصديّةٌ على أن معظم الكتلة المجرّية مادّةٌ قاتمةٌ غير مرئية. وظاهر الأمر أن أيَّ مجرَّة لولبية أو إهليلجية كبيرة هي أكبر كتلةً من الشمس بنحو تريليون مرة.

يُجمِل الجدول 2.6 القِيَمَ التقريبية لمعطياتٍ مَجرِّيةٍ اجتمعتْ للعلماء

حتى الآن (علماً بأن هذه القيم قد تتفاوت كثيراً في حالة مجرّاتٍ إفرادية). استعِنْ بهذا الجدول لاستنباط فارقَيْن بين المجرات اللولبية والإهليلجية

....

....

....

....

الجواب: تحتوي اللولبياتُ على نجومٍ هرمة وأخرى فتيّة، وعلى غاز وغبار مرئيَّيْن بين النجوم لتوليد نجومٍ جديدةٍ. في حين تضمُّ الإهليلجياتُ نجوماً هرمةً فحسب، وقليلاً من الغازِ والغبار البينجميّ المرئي.

الجدول 2.6 قِيَمٌ تقريبيّةٌ لمعطيات مجرّيَّة

القِيَم	المجرّات اللولبية	المجرّات الإهليلجية	المجرّات غير المنتظمة
الكتلة (مجرة درب التبانة = 1)	0.005 - 2	0.000001 - 50	0.0005 - 0.15
القطر (مجرة درب التبانة = 1)	0.2 - 1.5	0.01 - 5	0.05 - 0.25
الضيائية (مجرة درب التبانة = 1)	0.005 - 10	0.00005 - 5	0.0005 - 0.1
محتوى المجرّة من النجوم	نجومٌ هرمة وفتيّة	نجوم هرمة	نجومٌ هرمة وفتيّة
المادة البينجميّة المضيئة	كميات معتدلة من الغاز والغبار	كميات قليلة من الغاز والغبار	كميات وافرة من الغاز والغبار

15.6 التطوُّر المجرِّي

مازال علماءُ الفلك اليوم حيارى إزاء الكثير من أسرار المجرّات.

أيُّهما تكوَّن أولاً: المجرّات أم النجوم؟ إن التغيُّر الذي يطرأ على

المجرّات بطيءٌ جداً بحيث لا يتسنى للإنسان رصده عياناً. ومع ذلك يستطيع علماءُ الفلك «رؤية» المجرّات في مراحل مبكِّرة جداً من تطوُّرها عن طريق رصدها من مسافات بعيدة جداً عنّا (إذ إن النظر بعيداً في أعماق الفضاء يعني النظرَ بعيداً في ماضي الزمان). فإذا كانت المجرّات قد تكوَّنتْ من مادة بدائية في مراحل الكون الأولى، استتبعَ ذلك أن يكتشف الراصدون مجرّةً أوَّليّة protogalaxy في طور التكوُّن.

ثم هل تتطوَّر المجرّاتُ بعد ولادتها تدريجياً بِرَكْم الغازات المجاورة، أم أنها تبلغ حجمَها النهائيَّ بسرعة؟ في داخل المجرّة تُولَد النجومُ وتتطوَّر وتندثر، معيدةً المادةَ الغنيّةَ بالعناصر الثقيلة إلى الفضاء لتكوين نجوم جديدة أخرى. كذلك يبدو أن المجرّاتِ تتطوَّر بفاعليةٍ ونشاط بالتآثر في ما بينها؛ فقد تنشأ مجراتٌ إهليلجية كبيرة عن حوادث تصادمٍ بطيئة لمجرّاتٍ لولبية أصغر. وقد يفضي التصادمُ إلى إحداث منظومةٍ وحيدة ذات نوىً مندمجة تحيط بها هالةٌ من النجوم.

متى تَتَّخذ المجرّةُ شكلَها؟ قد يتحدَّد شكلُ المجرّة بالدرجة الأولى من كتلتها الأوَّلية وكثافتها واندفاعها الزاويّ، وكذلك من وجود أجرام رفيقة قريبة منها، أو انتمائها إلى حشد. وقد تتكوَّن المجرّاتُ اللولبيةُ أولاً، ثم تتكوَّن المجرّات الإهليلجية فيما بعد باندماج مجرّاتٍ لولبية.

كيف يتغيَّر التركيبُ الكيميائيُّ للمجرّة، ولونُها، ودرجةُ ضيائيتها على مدى مليارات السنين؟ تحقَّق العلماء حديثاً من حدوث تغيُّراتٍ في اللون والضيائية، عن طريق مقارنة مجرّاتٍ تبعد عنّا نحو 10 مليارات سنة ضوئية (أي أكثر فتوَّةً) بمجرّات قريبة (أقدم عُمراً)، فوجدوا أن أبعد المجرّاتِ موقعاً وأكثرها فتوَّةً كانت أسطعَ ضوءاً وأشدَّ زرقةً. ويبدو أن النجومَ الزرقاءَ الحارّة تتكوَّن بمعدَّل أعلى في المجرّات الفتيّة منها في المجرّات الهرمة.

هل مرّ الكثيرُ من المجرّات بمرحلة مبكّرة بالغة النشاط والفاعلية؟ لقد

وُجد أن كثيراً من المجرّات النَّشطة تقع على مسافاتٍ نائية. ولعلَّ عدداً كبيراً من المجرّات قد مرَّ بمرحلة مبكِّرة عظيمة النشاط، كانت فيها الكوازرات[1] quasars (وهي أجرامٌ صغيرة استثنائية الضيائية من خارج المجرّة، تتميَّز بانزياحٍ أحمر كبير) مراكزَ توليد طاقتها.

ما هي المعطيات المرصودة التي تدلُّ على أن اختلاف أشكال المجرات لا يمثِّل مراحلَ تطوُّرٍ في دورة حياتها؟ عُدْ إلى الشكل 15.6 والجدول 2.6 ....

....

....

....

....

الجواب: إن الأنماط الثلاثة للمجرّات تحتوي كلُّها على نجومٍ هرمة. وتشير هذه الحقيقة إلى أن المجرّاتِ اللولبيةَ والمجراتِ غير المنتظِّمة ذاتُ عُمر واحد هي والمجرّات الإهليلجية، ولا يمكن أن تكون المرحلةَ النهائية لحياة مجرّة. كذلك لا يمكن أن تمثِّل المجرّاتُ الإهليلجيةُ المرحلةَ الأولى من دورة الحياة ـ كما رأى هَبلْ ـ لأنها لا تحتوي على الغبار والغاز اللازمَيْن لولادة نجومٍ جديدة توجد في المجرّات اللولبية والمجرات غير المنتظمة.

16.6 المجموعات المجرِّية

تشير عمليات المسح الفوتوغرافي للسماء إلى أن معظم المجرّات تنتمي

(1) كوازر quasar كلمة منحوتة من البادئة quasi (= شبه) وstellar (= نجمي)، ومعناها: [منبع راديوي] شبه نجمي. (المعرِّب)

إلى مجموعات يُطلق عليها اسم حشود المجرّات clusters of galaxies. تضمّ هذه الحشودُ أعداداً من المجرّات تقلُّ فلا تكاد تتجاوز بضع مجرّات، أو تكثر فتبلغ الالآف. تتماسك المجرّات بفعل قوة الثقالة وهي تطوف إحداها حول الأخرى بسرعات تقارب 1000 كيلومتر (600 ميل) في الثانية. ويُقصد بالغنى richness عددُ المجرّات التي تتجاوز في سطوعها مستوى سطوعٍ مختار ضمن حشدٍ مجرّي، على حين تشير البنية structure إلى مجموعة من المجرّات (الشكل 17.6).



الشكل 17.6 حشد العذراء الذي يضم آلاف المجرّات، وتقع المجموعةُ الموضعية على محيطه. وهو أقرب الحشود المجرّية الغنية، إذ يبعد نحو 50 مليون سنة ضوئية.

تنتمي مجرّتُنا دربُ التبانة إلى حشدٍ نموذجيٍّ صغير يسمّى المجموعة الموضعية Local Group تضم زهاء 30 مجرّة. وكلمة «موضعية» هنا تعني أن المجرّات تقع ضمن منطقة قطرها 3 ملايين سنة ضوئية. ويجدر القول إن ثلاثاً من هذه المجرّات (مجرّتنا درب التبانة، ومجرّة أندروميدا (M31)، والمجرّة M33 في كوكبة المثلَّث Triangulum) هي مجرّاتٌ لولبية. أما المجرّات الأخرى فهي إما إهليلجية (تضم رفيقَي المجرّة M31 الساطعَيْن: NGC 205 وM32)، وإما غير منتظمة (تشمل سحابتَيْ ماجلان). وأغلبها مجرّاتٌ قزمة، أي صغيرة لا تتجاوز أقطارها بضعة آلاف السنين الضوئية.

تُقسَم الحشود المجرّية إلى صنفَيْن اثنين تبعاً لأشكالها: فالحشود المنتظمة regular clusters حشودٌ متراصّةٌ نسبياً، تبلغ أعلى كثافةٍ لها قرب المركز، ومجرّاتها في الغالب إهليلجية أو لولبيَّة من النوع S0. وكثيرٌ من الحشود المنتظمة يُصدِر إشعاعاً راديوياً من المجرّات النشطة والغاز البَيْمَجَرِّيّ (أي بين المجرّات) intergalactic gas، في حين يُصدِر ثلثُها أشعةً سينيّةً عند درجة حرارة تناهز 100 مليون كلفن.

بالمقابل، تتميَّز الحشودُ غير المنتظمة - irregular clusters ومنها مجموعتنا الموضعية - ببنيةٍ أقلَّ تراصّاً، وبتركيزٍ مركزيٍّ ضئيل وكميّات أقلّ من الغاز الحارّ جدّاً. وهي تحتوي على الكثير من المجرّات اللولبية وغير المنتظمة، قلّةٌ منها تُصْدِرُ أمواجاً راديويّةً أو أشعةً سينيّة.

والحشدُ الفائق supercluster هو حشدٌ لحشودٍ من المجرّات، وهو أكبر المنظومات المترابطة تثاقلياً من بين الحشود المرصودة حتى اليوم. تقع أقطارها بين 100 مليون ومليار سنة ضوئية. تنتمي المجموعةُ الموضعيةُ مع مجرَّتنا دربِ التبانة إلى حشد العذراء Virgo Cluster، الذي هو جزءٌ من الحشد الفائق الموضعي Local Supercluster.

تتوضّع الحشودُ الفائقة في صفائح رقيقة تتاخم الخواءات voids، وهي

مناطق لا يُرصَد فيها من المجرّات إلاّ القليل، وهي أشبه بفقاقيعَ عملاقة تقع حشودُ المجرّاتِ على امتداد سطوحها. ويتألف الكونُ المنظور في معظمه من خواءات هائلة بين الحشود الفائقة.

ما هي أكبر منظومةٍ بنيويّةٍ في الكون؟ ....

الجواب: حشدٌ فائقٌ من المجرّات.

17.6 نشاطٌ غير اعتياديٍّ في المجرّات

إن لبعض المجرّات أشكالاً شاذّةً وصِفات غيرَ مألوفة.

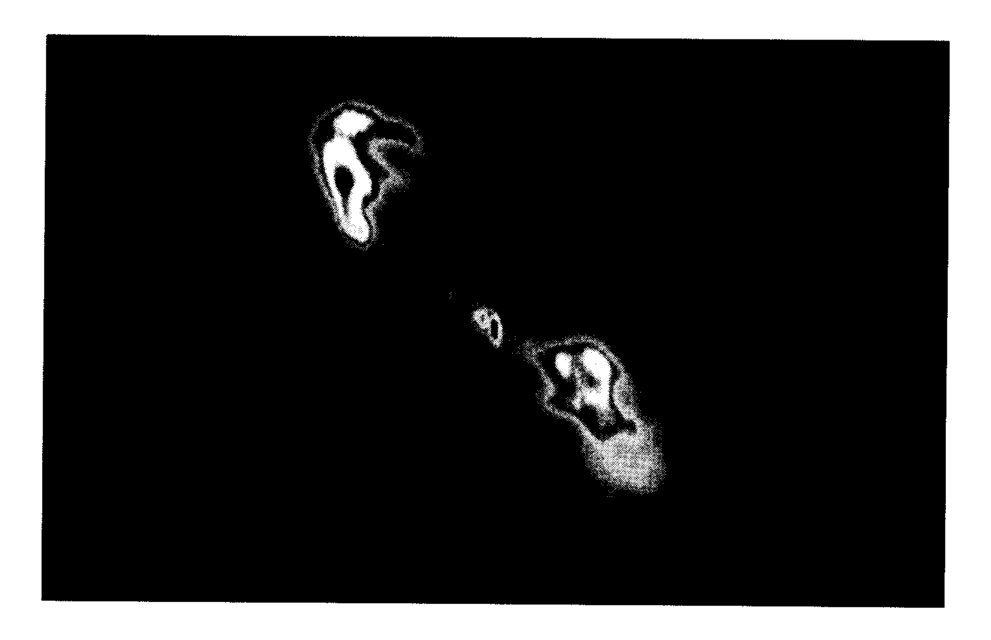
فالمجرّة النشطة active galaxy مجرّةٌ تَصْدر عن مركزها، أو نواتِها المجرّية النشِطة active galactic nucleus (AGN)، كمياتٌ ضخمةٌ جداً من الطاقة تفوق كثيراً إجماليَّ خرج مفاعلات الاندماج النووي في نجوم المجرّات النظامية. وكثيراً ما تُطْلِق النوى المجرّيةُ النشِطة نفثات عظيمةً من غاز الهيدروجين نحو الخارج بسرعات عالية جداً (الشكل 18.6).

والظاهر أن مصدرَ الطاقة الهائلة منبعٌ مركزيٌّ شديد يجتذب إليه المادةَ القريبة. وقد تكون هذه القوةُ الجاذبةُ جِرماً ضخماً جداً من قبيل ثقبٍ أسود كتلته تفوق كتلةَ الشمس ملايينَ المرات. فإذا كان الأمر كذلك، فإن الغبار والغاز، بل وحتى النجوم، تتسارع وتتسخَّن وهي تتَّجه لولبياً نحو الثقب الأسود. وتُطلِق المادةُ الناريّةُ الكثيفةُ الساقطةُ الإشعاعَ. ويمكن الاستدلالُ على كتلة المادة الجاذبة من سرعة السقوط.

أعطِ تفسيراً محتملاً للفعالية العنيفة في المجرّة المبيَّنة في الشكل 18.6؟

....

الجواب: وجود ثقب أسود في مركز المجرّة.



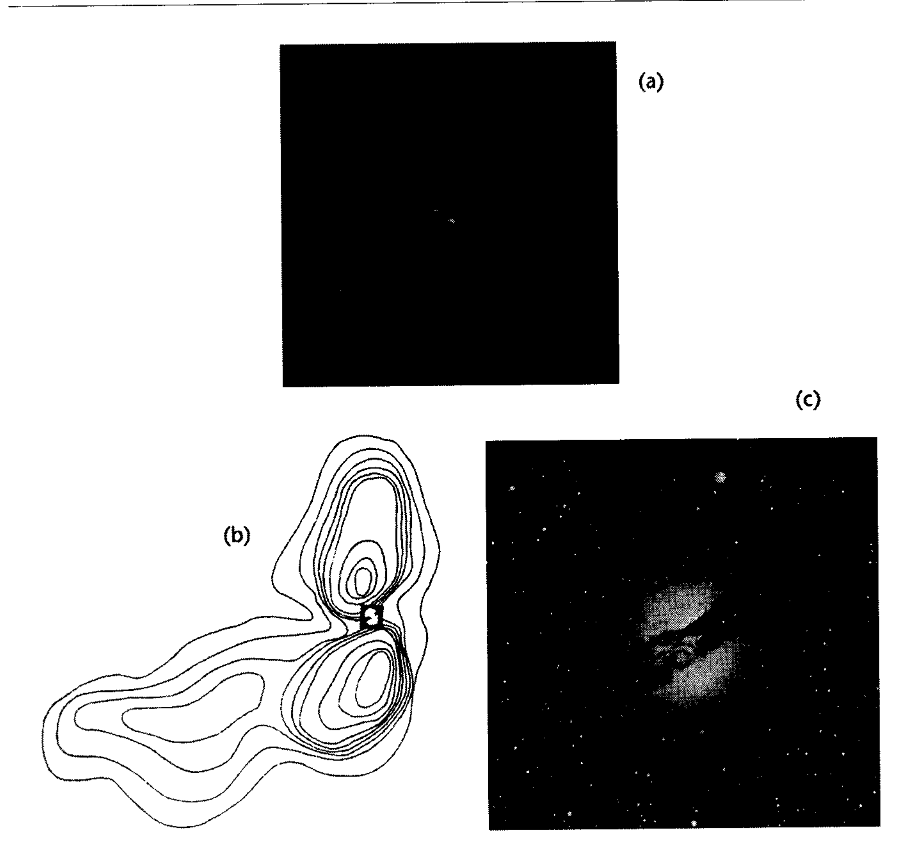
الشكل 18.6 صورةٌ شعاعيةٌ لمجرّة قنطورس A (NGC 5128)، أقرب مجرَّةٍ نشِطة، تبعد عن الأرض 11 مليون سنة ضوئية.

18.6 المجرّات الراديوية

تؤلِّف المجرّاتُ الراديوية radio galaxies أكبرَ صنف من المجرّات النشِطة (الشكل 19.6).

تُظهِر الصورةُ الشعاعيةُ لمجرّةٍ راديوية نموذجيّة رقعتَيْن كبيرتين من الطاقة عند الأطوال الموجيّة الراديوية على طرفَيْن متقابلَيْن من مجرّة مرئيّة. وتتراءى الطاقةُ الراديويةُ في العادة شبيهةً بما يسمى الإشعاع السنكروتروني synchrotron radiation، وهو إشعاعٌ تولِّده إلكتروناتٌ تتحرّك لولبياً بسرعة تداني سرعةَ الضوء ضمن حقل مغنطيسيٍّ قويّ.

فإذا كان الثقبُ الأسودُ المركزيُّ الافتراضيُّ موجوداً فعلاً، فإن نفثاتِ الإلكترونات العاليةِ الطاقة تُقذَف بواسطة المادة وهي تختفي داخل الثقب



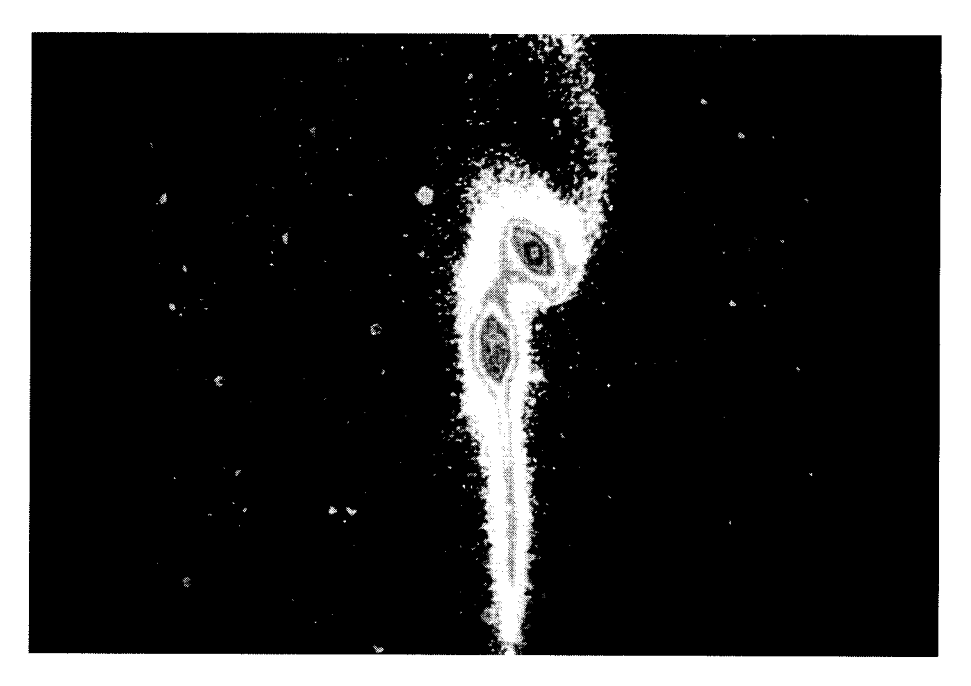
الشكل 6.19 المجرّة الإهليلجيّة النَّشِطة قنطورس A، وفيها دفقٌ نفّاثٌ من جُسَيماتٍ عالية الطاقة في مركزها. (أ) صورة سينيّة. (ب) خريطة راديوية كِفافية contour. (ج) صورة بالضوء المرئي.

الأسود. تُطلِق الإلكتروناتُ الطاقةَ الراديويةَ الهائلة في حين تتسارع في حقلٍ مغنطيسيٍّ قويّ.

وقد توفِّر المواجهاتُ المجرّيةُ المتدانيةُ المادةَ الهائلةَ التي يلتهمها الثقبُ الأسود المفترَض.

وعندما تتصادم مجرّتان، فإن إحداهما تَعْبر الأخرى ظاهرياً؛ إذ تُظهِر أرصادٌ حديثةٌ مجرَّةَ القوس Sagittarius القزمة، التي تدور حول مجرّتنا دربِ التبانة، وقد غاصت داخل المناطق المركزية من هذه الأخيرة. ويُفترَض أن

تتَّصف سُحُبُ الغاز والغبار في المجرّات المتصادمة colliding galaxies بالكثافة الشديدة، وقد تُحدِث انفجاراً يؤذن بتكوُّنٍ نجميّ، أو تغذّي الثقبَ الأسودَ الافتراضيَّ بالوقود (الشكل 20.6).



الشكل 20.6 المجرَّتان المتصادمتان NGC 4676A/NGC 4676B «الفأرتان». ينشأ عن هذا التآثر ذيولٌ نجميّةٌ طويلة تنسحب من المناطق المركزية للمجرَّتين.

وأغلب الظنّ أن ما يسمّى الأَسْر المجرّيّ Galactic cannibalism يحدث عند مرور مجرّة كبيرة جداً على مقربة دانية من مجرّة أصغر منها بكثير، فـ «تلتهمها». وبفعل قوى المدّ تستطيع مجرّةٌ ضخمةٌ نزعَ أو ضمَّ الغاز والغبار والنجوم من قرص أصغر. إنّ سقوط النواة الصغيرة على مركز المجرّة الكبيرة من شأنه أن يغذّي خَرْجَ طاقتها لملايين السنين.

ماذا تعتقد أن يعتريَ الحياةَ على الأرض لو اصطدمَتْ مجرَّتُنا بمجرّةٍ أخرى؟ وسِّعْ إجابتك ....

....

....

الجواب: لا شيء على الأغلب؛ فالنجومُ وكواكبها المحتملة منفصلةٌ بمسافاتٍ شاسعة ضمن مجرّاتها، بحيث قد تَعْبر مجرّتان إحداهما الأخرى من غير أن تتماسَّ نجومُهما أبداً. (علماً بأنه لم تُرصَد حوادث تصادُمٍ نجميٍّ البتةَ).

6 . 19 مجرّات سايفرت

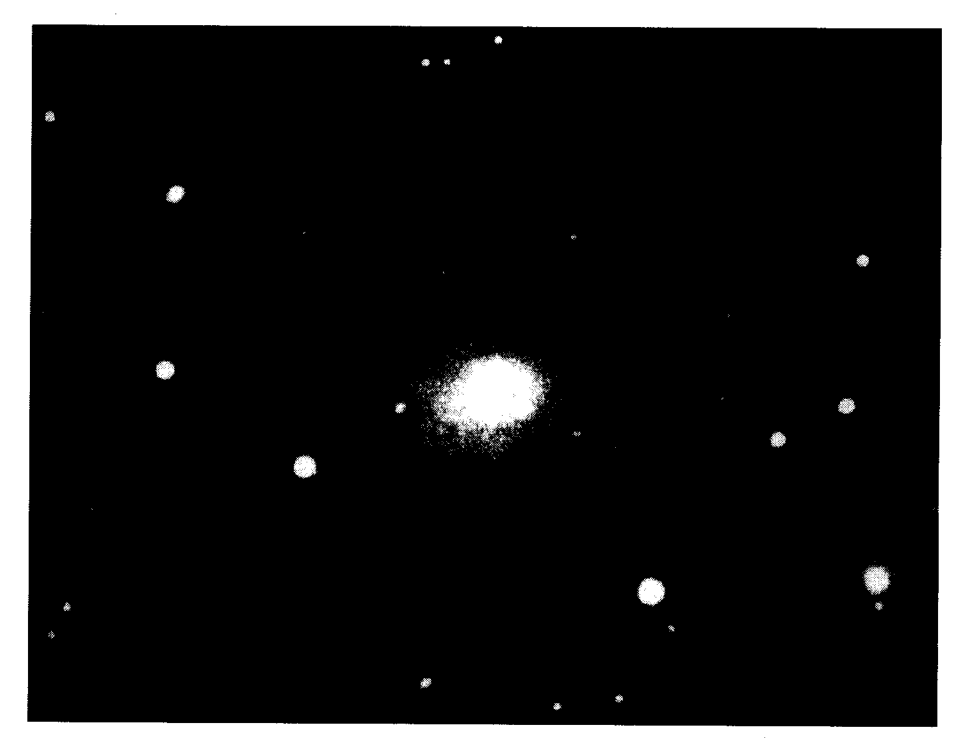
مجرّةُ سايفرت Seyfert galaxy، المسمّاة نسبةً إلى عالِم الفلك الأمريكي كارل سايفرت Carl K. Seyfert (1911 ـ 1960) الذي وَصَفَ نموذَجها الأوَّلي، هي مجرّةٌ لولبيةٌ ذات نواة مجرّية نشطة (الشكل 6 . 21).

تضيء نواةُ سايفرت Seyfert neucleus ـ التي لا يتجاوز قطرها 10 سنوات ضوئية ـ بسطوعٍ أكبرَ عدةَ مرات من مجرّة نظامية بحجم مجرّة درب التبانة. ويتميّز طيفُها بخطوط إصدارٍ عريضة تدلُّ على حركات مضطربة لغاز حارٍّ جداً، وبسرعات تصل إلى آلاف الكيلومترات في الثانية.

وأغلب مجرّات سايفرت مُصْدِراتٌ قويةٌ للإشعاع تحت الأحمر. ويرجَّح أنّ الغبارَ المسخَّن الذي يغلِّف النواةَ يَمتصُّ إشعاعاً عالي الطاقة يَصْدر عن اللّبّ المستَحَثّ، ثم يُصْدِره من جديد عند أمواجٍ تحت حمراء طويلة.

يُذكرُ أن أقل من 2 في المئة من إجمالي عدد المجرّات اللولبية هو من نوع سايفرت. فإما أن تحتوي جميع المجرّات اللولبية على نوىً نَشِطة في وقت ما، وإما أن يعمل جزءٌ صغير من المجرّات اللولبية على هذا المنوال.

ما وجه اختلاف مجرّة سايفرت عن مجرَّةٍ لولبيةٍ نظامية؟ ....



الشكل 21.6 إحدى مجرّات سايفرت، المسمّاة پرساوس NGC 1275) A)، هي منبعٌ راديويٌّ وسينيّ. تؤلِّفُ المادةُ المنفجرةُ خارجاً في الفضاء بسرعة 2500 كم/ثا (1500 ميل/ثا) منظومةً شاملةً من خيوط طويلة.

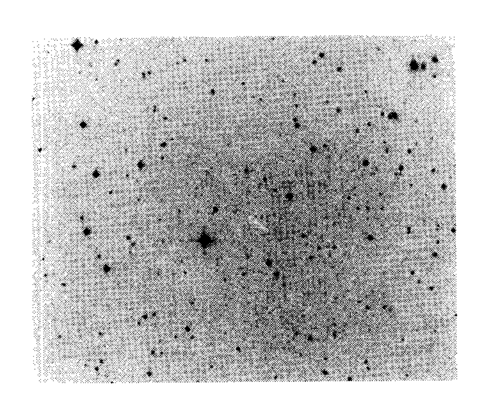
....

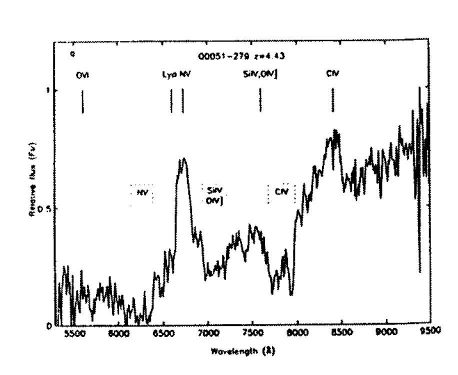
....

الجواب: تتميَّز مجرّةُ سايفرت بنواةٍ صغيرةٍ استثنائية السطوع، مع خطوط إصدارٍ عريضة (ليس مصدرها النجوم) في طيفها.

20.6 كوازَرات غامضة

بدتْ أوائلُ الكوازرات المرصودة كنجوم خافتة في الصُّور الفوتوغرافية الملتقَطة لها، إلا أنها منابعُ راديوية ذات أطيافٍ لانجميّة. ومن هنا تسميتها بالمنابع الراديوية شبه النجمية (الشكل 22.6).





الشكل 6 .22 الكوازر Q0051-279 البعيد جداً (أ) يتعذَّر تمييزه عملياً عن النجوم في الصُور الفوتوغرافية المألوفة. (ب) لِطَيْفِه ضوءٌ مُنْزاحٌ إلى الأحمر بدرجة كبيرة جداً تضع هذا الكوازر مجاوراً للبداية المفترَضة للكون.

ثمة آلافٌ من الكوازرات يُصْدِر معظمُها طاقةً استثنائيةً على نطاق عريض من الأطوال الموجيّة، من الراديوية إلى الغاميّة. ومع ذلك فهي محافظةٌ على اسمها الأصلي. وربما كان الإصدارُ الراديويُّ مرحلةً مؤقتةً من دورة تطوُّرها.

والكوازرات صغيرةٌ قياساً إلى الأجرام السماوية الأخرى، إذ يبلغ نصفُ قطرها زهاء يومٍ ضوئيٍّ واحد (لا يزيد كثيراً على منظومتنا الشمسية)، لكنها تضيء بدرجة سطوعٍ قد تفوق سطوعَ ألف مجرّة نظامية، مع ملاحظة أن جلَّ الكوازرات تتفاوت في خَرْج ضوئها تفاوتاً غير منتظم.

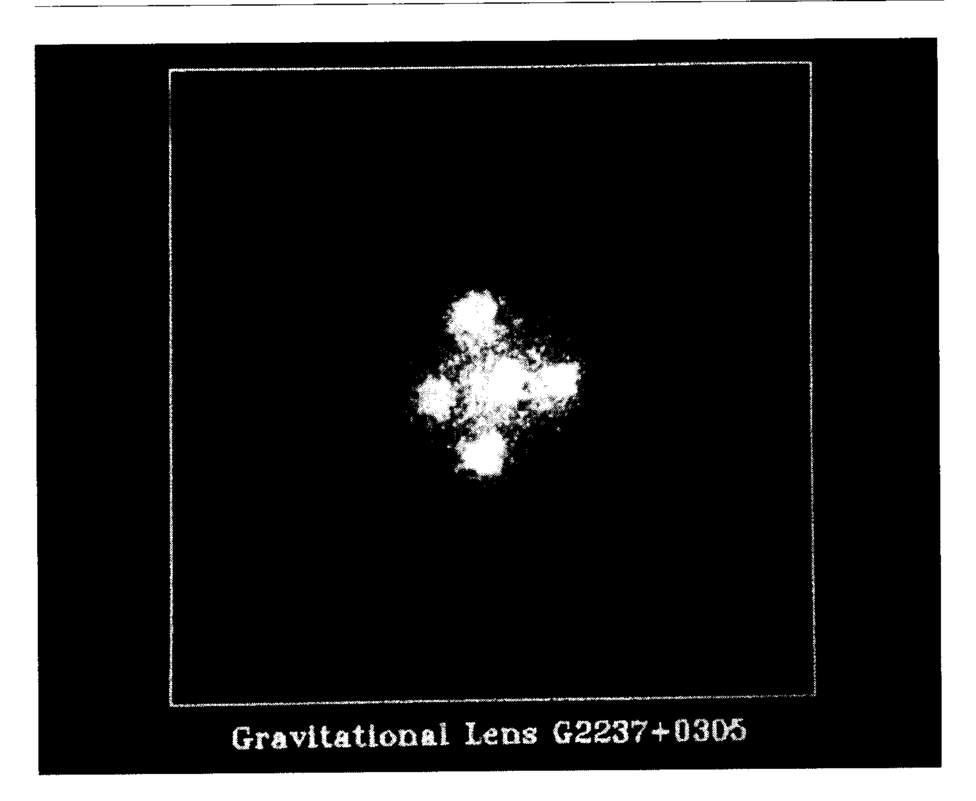
ينْزاح ضوءُ الكوازرات بدرجة كبيرة نحو النهاية الحمراء للطَّيْف. وقد وُجد أن الكوازرات تستأثر بأعلى انزياحاتٍ حمراء رُصدتْ حتى الآن. ويفسِّر أغلبُ الفلكيين هذه الخاصيّة على أنها مثالٌ لانزياح دوبلر، وهذا يعني أن الكوازرات تنطلق بعيداً عنا بسرعاتٍ تتجاوز 90 في المئة سرعة الضوء. وإذا صحَّ هذا التفسير جازَ القول إن الكوازرات هي أبعدُ ما اكتُشِف من أجرامٍ سماويّة، وأعلاها ضيائيةً على الإطلاق.

ويلاحَظ أن الضوءَ فوق البنفسجي الذي يُصدِره كوازر بأكبر انزياحٍ أحمر يُستقبَل على الأرض ضوءاً أحمر. فإذا كانت هذه الظاهرةُ انزياحاً أحمر دوبلرياً حقاً، دلَّ ذلك على أن حافَةَ الكون المعروف متميِّزةٌ بوجود كوازرات تنطلق بعيداً في الفضاء الكوني بسرعاتٍ مذهلة تتجاوز المليار كيلومتر (600 مليون ميل) في الساعة، وأن هذه الكوازرات كانت مضيئةً حينما كان الكون فتيّاً.

وإنّ في الصُّوَرِ المزدوجةِ والمركَّبةِ للكوازر الظاهريِّ نفسِه ما يعضد الرأي القائل بأن الكوازرات تقع على مسافات كونية شاسعة البُعد. وتقضي نظريةُ أينشتاين في النسبيَّة العامة بانحراف الضوءِ النجميِّ المارِّ بالقربِ من جِرم كبير. فالمجرّةُ التي هي أقرب إلينا من كوازرٍ معيَّن قد تكون عدسةً تثاقليّة gravitational lens تولِّد صوراً مركّبةً للكوازر (الشكل 6 . 23).

هذا وقد اقتُرحت فرضيّاتٌ مختلفة كثيرة ثم نُبذت، في محاولةٍ لتفسير حجم الخَرْج الهائل لطاقة تلك المحطات الكونية، فاستعان العلماء بنظرية أينشتاين النسبيّة لعزو الانزياح الأحمر غير الاعتيادي في الكوازرات إلى قوةٍ تثاقليّة عظيمة (انزياحٍ أحمر تثاقليّ gravitational redshift)، وقد يُفهَمُ من ذلك أن الكوازرات كانت فيما مضى أقرب موقعاً وأقلَّ شدة ضيائية. وفي هذا الإطار دُرِسَتْ حوادثُ تصادم جُسَيْماتٍ ماديّة والمادة المضادّة antimatter[1] لها، وهي النقيضُ الغريبُ للمادة المألوفة على الأرض. واقتُرح مَصْدرٌ للطاقة جديدٌ لم تُدرَك ماهيَّته بعد.

(1) المادة المضادّة هي ضربٌ من المادة إذا تماسَّت والمادةَ العادية أَفْنَتْ إحداهما الأخرى ولم يتخلَّف غير الطاقة؛ فالبوزيترون هو المادة المضادة للإلكترون، والبروتون المضادّ هو المادة المضادة للبروتون. وهي تُرصَد في الأشعة الكونية، ويمكن توليدها من الطاقة معملياً، إذ يرصد العلماء إشعاعاً عالي الطاقة (أشعة غاما) يتحوَّل إلى جسيمات. إلا أن أمثال هذه التحوُّلات تفضي دوماً إلى توليد زوج من الجسيمات لا بدّ من أن يكونا متعاكسَي (أو منعدمَي) الشحنة، وأن يكون أحدهما من مادةٍ مألوفة والآخر من المادة المضادة. (المعرِّب)



الشكل 23.6 صورة للعدسة التثاقلية 0305 + G2237 التي يُطلق عليها اسم «تقاطُع أينشتاين Einstein Cross»، التقطها مقرابُ هَبلْ الفضائي الأمريكي. ينحني مسار الضوء الوارد من كوازر يبعد زهاء 8 مليارات سنة ضوئية، بفعل الحقل التثاقلي لمجرّةٍ (الجِرم المركزيّ المنتشِر) تقع على بُعد 400 مليون سنة ضوئية، فتتكوّن الصُوَر الخارجية الأربع الساطعة.

تُظهِر أجهزةُ الكشف المزوَّدةُ بعناصر قَرْنٍ شِحنيّ وجودَ كوازراتٍ متراصَّة ساطعة في مراكز المجرّات، وقد يكون الكوازر أكثرَ أنواع النوى المجرّيةِ النشطة ضيائية. ولما كان نشاط الكوازر أكثر شيوعاً بكثير في المراحل الأولى لبدء الكون، مما هو عليه اليوم، فمن المحتمل أنَّ الكوازر هو مرحلةٌ من مراحل تطوُّر المجرّات الفتيَّة.

ولا يني علماءُ الفلك في تصنيف وتحليل مختلف المجرّاتِ والكوازرات من حيث حجومُها وأشكالها ودرجاتُ سطوعها وألوانها

وانزياحاتها الحمراء وتوزُّعها، بغية الوصول إلى إدراكٍ أعمق لبعض أسرار الكون.

ما الجانب الغامض في الكوازرات؟ ....

....

....

الجواب: مصدر خرج الطاقة الهائل الذي تملكه إذا كانت فعلاً على بُعدٍ ناءٍ جداً عنّا، كما هو الاعتقاد السائد.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل السادس وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عرِّف المجرَّة ....

....

2. رتِّبْ ما يلي تصاعدياً بحسب الحجم: نجم، كوكب، مجرَّة، حشدُ مجرَّات، حشدٌ مفتوح، حشدٌ فائق، المنظومة الشمسية ....

....

3. ارسم مشهداً تخطيطياً جانبياً لمجرَّة درب التبّانة، وأثبت عليه (أ) طول القطر؛ (ب) القرص؛ (ج) النواة؛ (د) ذراع لولبية؛ (هـ) الهالة؛ (و) موقع الشمس والأرض؛ (ز) موقع الحشود الكريِّيَّة. ....

4 أيٌّ مما يلي تَحَدَّدَ في الوسط البَيْنجميّ: غاز الهيدروجين، الإشعاع، البكتيريا، جُسَيماتٌ غبارية دقيقة صُلبة، الڤيروسات، بخار الماء، الكحول، غازات عناصر أثقل من الهيدروجين، جزيئات عضوية، الطحالب؟ ....

5. لماذا كان من المهم في نظرية التطوُّر النجمي معرفة تركيب المادة البَيْنجميّة في كل حقبة؟ ....

....

6. عُدْ إلى الشكل 9.6 وقرِّرْ هل الفضاء الواقع خلف «رأس الفَرَس» فارغٌ من النجوم حقاً؟ فصِّلْ ....

....

....

....

7. ما السبب في أن إشعاع الـ 21 سم الراديوي الصادر عن ذرّات الهيدروجين أكثر فائدةً من الضوء المرئي في مسح بِنية مجرَّة درب التبّانة؟

....

....

8. استعِنْ بمخطَّطَيْ H-R للحشدَيْن النجميَّيْن 1 و 2 الشكلان 24.6 (أ) و(ب) للإجابة عما يلي:

(أ) أيُّ الحشدين أقدم عُمراً؟ ....

(ب) أيُّ الحشدين يضمُّ نجوم الجمهرة I؟ ....

(ج) أيُّ الحشدين يضمُّ نجوماً تتوفر فيها مقادير عالية نسبياً من العناصر الثقيلة؟ ....

(د) أيُّهما حشدٌ كُرَيِّيّ؟ ....

(هـ) أيهما يضم عدداً كبيراً من النجوم الزرقاء الساطعة؟ ....

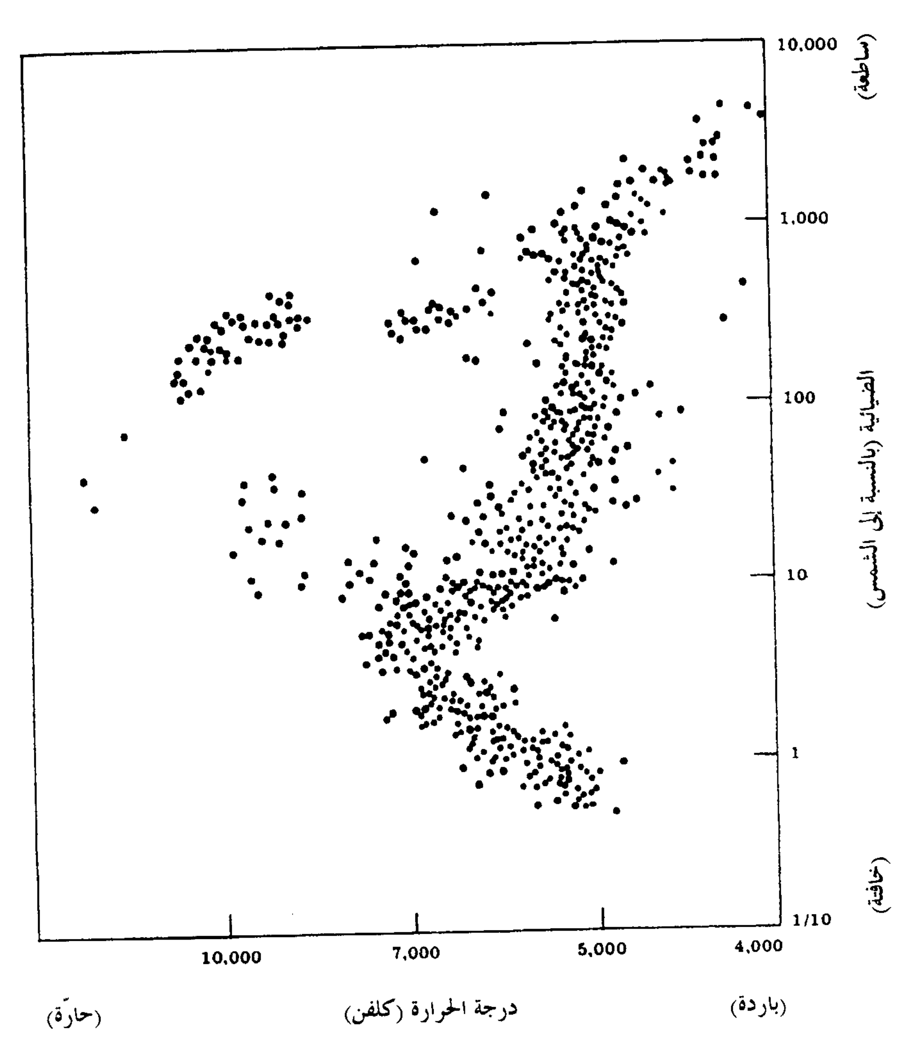
(و) أيهما قد يحوي ما يصل إلى 10 ملايين نجم؟ ....

9. (أ) ما هو أبعد جِرمٍ سماويٍّ يُرى بالعين المجرَّدة؟

....

....

(ب) كم من الزمن يستغرق الضوءُ الصادر عن ذلك الجِرم كي يصل عينيك؟



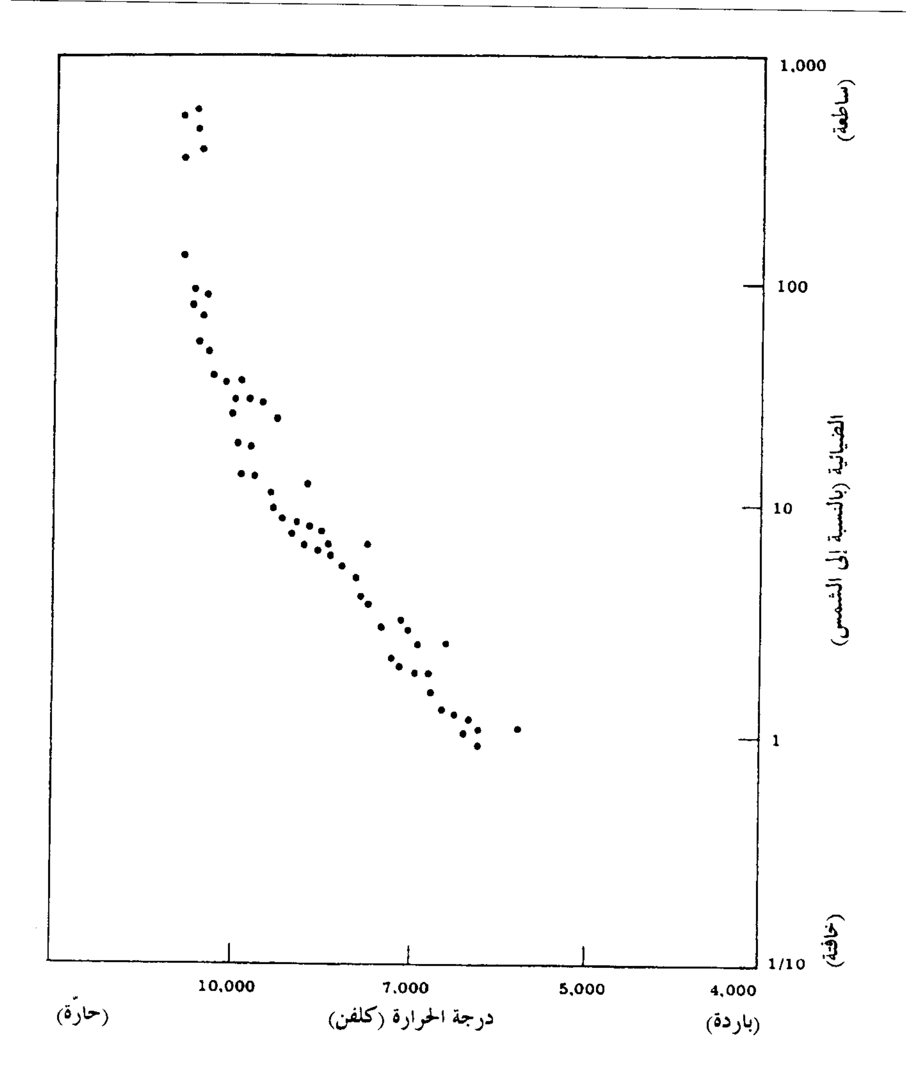
الشكل 24.6 (أ) مخطط H-R للحشد 1.

....

....

10. عدِّدِ الأشكالَ الرئيسية للمجرّات وفقاً لنظام تصنيف هَبلْ، وبيِّن السَّببَ في أنها لا تمثِّل مراحلَ متعاقبةً في تطوُّر المجرّات.

....



الشكل 24.6 (ب) مخطط H-R للحشد 2.

....

11. ما أكثر التفسيرات شيوعاً لخرج الطاقة الهائل في المجرّات النَّشِطة؟ .....

....

....

12. قابلْ كلاًّ من الشروح التالية بالجِرم المناسب للوصف:

-- (أ) يبدي أكبر انزياحٍ أحمر معروف حتى اليوم.

-- (ب) سُحُبُ الغاز والغبار هنا أعلى كثافةً بكثير.

-- (ج) تُظهِر الصورةُ الشعاعية رقعتَيْن كبيرتين تُصْدِران أمواجاً راديويةً على طرفين متقابلَيْن لمجرَّةٍ مرئية تقع بينهما.

-- (د) ذات نواةٍ ساطعةٍ وصغيرةٍ نسبياً، مع خطوط إصدارٍ عريضة في طيفها.

-- (هـ) يمكن تفسير ضيائيتها على أنها حصيلة نجومٍ كثيرة مجتمعة.

(1) مجرَّات متصادمة.

(2) مجرَّة سايفرت.

(3) مجرَّة نظامية.

(4) كوازر.

(5) مجرَّة راديوية.

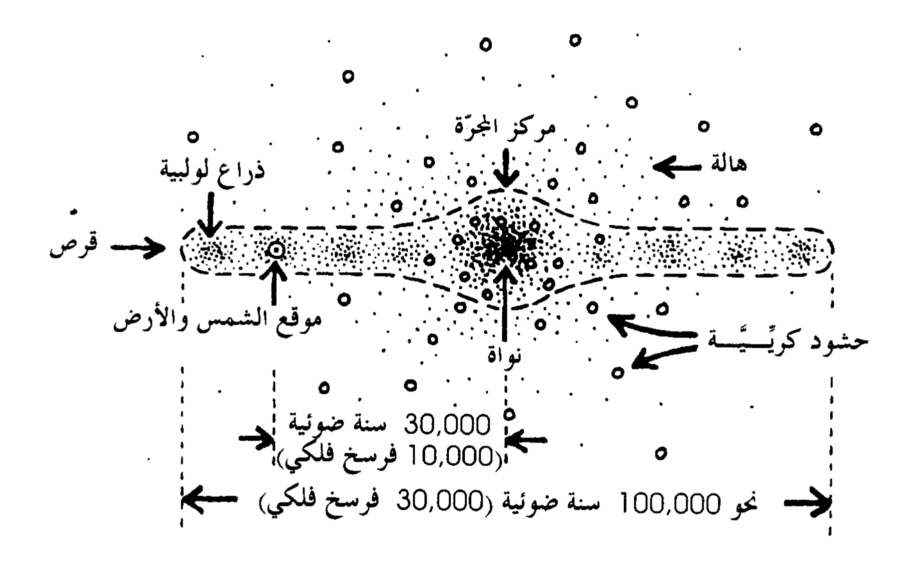
الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. تجمُّعٌ عظيمٌ من النجوم والغاز والغبار، تتماسك جميعاً بفعل قوة الثقالة.
(الفقرة 1.6)

2. كوكب، نجم، المنظومة الشمسية، حشد مفتوح، مجرَّة، حشد مجرّات، حشد فائق.
(الفقرات 1.6 إلى 3.6 و 16.6)

3. الشكل 25.6. (الفقرات 2.6 و 3.6 و 11.6)



الشكل 25.6 مرأى جانبي لمجرّة درب التبّانة (كما تُرى من حافتها).

4. غاز الهيدروجين، الإشعاع، جُسَيْمات غباريَّة دقيقة صُلبة، بخار الماء، غازات عناصر أثقل من الهيدروجين، جزيئات عضوية. (الفقرة 6.6)

5. لأن المادة البَيْنجميَّة هي المادة الأوَّلية للنجوم والكواكب الجديدة.

(الفقرتان 6.6 و 8.6)

6. لا، فـ «رأس الفرس» سديمٌ قاتم، وهو تجمُّعٌ كثيفٌ نسبياً من مادّةٍ بينجميَّة يَمتصُّ غبارُها ضوءَ النجوم أو يبعثره، فيخفي بذلك النجومَ التي خلفه فلا نكاد نراها.

(الفقرة 7.6)

7. لأن الأمواج الراديوية تنفذ من خلال الغبار البَيْنجميّ في قرص مجرَّة درب التبّانة بصورةٍ أكثر فاعليةً بكثير من أمواج الضوء المرئي.

(الفقرة 8.6)

8. (أ) 1؛ (ب) 2؛ (ج) 2؛ (د) 1 ؛ (هـ) 2؛ (و) 1.

(الفقرات 3.6 و 4.6 و 9.6)

9. (أ) مجرَّة المرأة المسلسلة (أندروميدا). (ب) 2,2 مليونا سنة تقريباً.

(الفقرة 12.6)

10. الإهليلجية، واللولبية، وغير المنتظمة. جميعها يحتوي على نجومٍ هرمة، لذا لا بدَّ من أن تكون من عُمرٍ واحد.

(الفقرات 13.6 إلى 15.6)

11. وجود جِرمٍ هائل، يرجَّح أنه ثقبٌ أسود، في مركز المجرَّة.

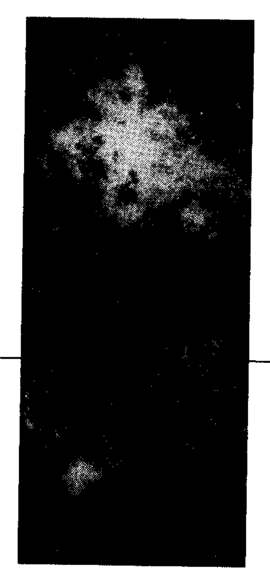
(الفقرة 17.6)

12. (أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 5؛ (د) 2 ؛ (هـ) 3.

(الفقرات 5.6 و 17.6 إلى 20.6)

7

الكــون



في البدء خلق الله السماوات والأرض، وكانت الأرض خربة خاوية، وعلى وجه الغَمْرِ ظلمة، وروحُ الله ترف على صفحة الماء. وقال الله: «ليكن النور»، فكان نور. ورأى الله النور أنه حسن.

سفر التكوين Genesis 1:1-14

الأهداف:

- تعريف علم الكون.
- بيان حدود علم الكون وافتراضاته الأساسية.
- إقامة الدليل على أن الكون يتوسع باستمرار.
- عرض قانون هَبلْ.
- بيان أهمية ثابت هَبلْ.
- وصف ماضي الكون وحاضرِه استناداً إلى نظرية الانفجار العظيم.
- استشراف مستقبل الكون في ضوء نماذج الكون المفتوح، والمنبسط، والمغلَق.

- إيراد أرصاد مهمة تعضد نظريةَ الانفجار العظيم.
- عرض وسائل للاختيار من نماذج الكون المفتوح، والمنبسط، والمغلَق.
- تقديم مشكلة في نموذج الانفجار العظيم وحلُّها بنموذج الكون المتوسّع توسُّعاً انفجارياً.
- عرض طرائق فلكية لتقدير عُمر الكون وحدوده.

1.7 تساؤلات لا تنتهي

يتساءل الناسُ دوماً عن كيفية بداية الكون وعن مآله، ولقد ابتَدَعَتْ أساطيرُ الأقدمين وفلسفتُهم ولاهوتُهم نماذجَ تُصوِّر نشأتَه ونهايتَه. وعلم الكون أو الكوزمولوجيا cosmology مبحثٌ يدرس أصلَ الكون وبِنيتَه الحاليَّة وتطوُّرَه ونواميسه، ويستشرف مصيرَه.

يبتدع علماءُ الفلك نماذجَ كونيّة cosmological models، وهي توصيفاتٌ رياضيةٌ تسعى إلى تفسير: كيف بدأ الكونُ؟ وكيف يتغيَّر بمرور الزمن؟ وماذا سيحلُّ به في المستقبل؟ ويتعيَّن أن تكون النماذجُ منسجمةً مع المعطيات الرصدية التي بحوزتنا عن النجوم والمجرّات.

وفي غضون السنوات الخمسين الماضية جرى اختبار نوعَيْن أساسيَّين من النماذج الكونية هما: النموذج التطوُّري evolutionary ونموذج الحالة المستقرّة steady state. وجاءتِ النتائجُ لتجسِّد النموذجَ التطوُّري.

تختلف النماذجُ الكونيةُ عن التفسيرات الدينية للكون اختلافاً جوهرياً. فهل لك أن تذكر ذلك الاختلاف؟ ....

....

الجواب: إن النماذجَ الكونيةَ لا تسعى إلى إضفاء سبب أو معنىً خارقٍ

للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حصراً.

2.7 الكون المتوسِّع

إن الظاهرة الأساسية التي لا بدَّ أن يلحظها أيُّ نموذجٍ كوني هي انزياحُ الضوء الوارد من المجرّات النائية في الطول الموجيّ نحوَ النهاية الحمراء (أمواج طويلة) للطَّيْف. تسمى هذه الظاهرة الانزياح الأحمر الكوني cosmological redshift.

ترى النظريةُ الحديثة أن هذا الانزياحَ الأحمر ناشئ عن تمدُّد المكان - الزمان space-time[1]، بصورةٍ تجعل المجرّاتِ الأخرى تبتعد عنّا. فإن معظمَ المجرّاتِ النائية التي نرصدها تتميَّز بأكبر انزياحاتٍ حمراء، وهي أسرع المجرّات انطلاقاً في فضاء الكون (الشكل 1.7).

عندما ننظر في أعماق الفضاء نرى المجرّات تنحسر مبتعدةً عنّا. فماذا يدلُّ هذا المشهد؟ ....

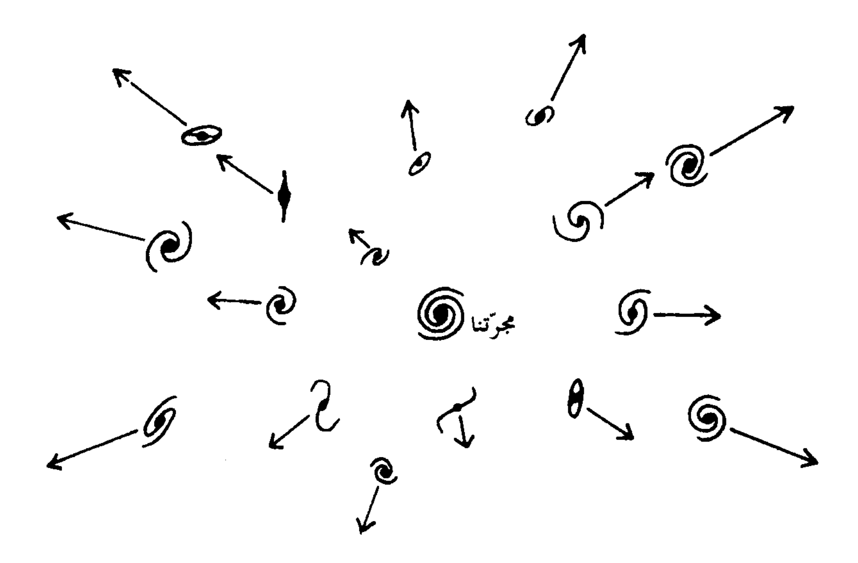
....

الجواب: يدلّ على أن الكون في حالة توسُّع حتماً.

3.7 الانزياحات الحمراء

أمْعِن النظر في الشكل 2.7، الذي يعرض الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجرّاتٍ متفاوتةِ البُعد عنّا.

(1) نظام المكان - الزمان الرباعي الأبعاد، يُستعمَل لتمثيل الكون في نظريةِ النسبية، وفيه ثلاثة أبعادٍ تُناظِر الفضاء العادي، أما البُعد الرابع فيناظر الزمن. يسمى أيضاً: متَّصِل المكان - الزمان space-time continuum. (المعرِّب)



الشكل 7.1 ترامي (انحسار) المجرّات، كما يبدو من مجرّتنا درب التبّانة (السّهام تدل على السرعات).

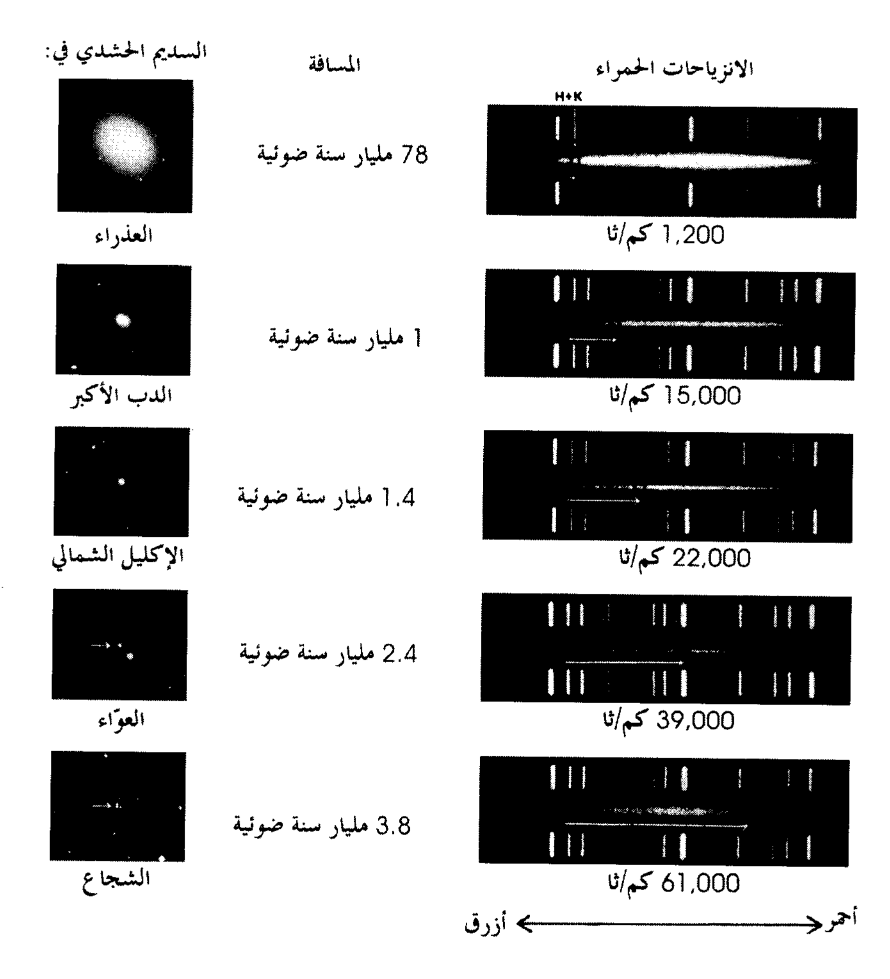
يلاحَظ أنَّ الخطوطَ الطيفيةَ المخبريةَ للأطوال الموجيَّة المعروفة، أُظْهِرتْ فوق وتحت خطوطِ طيفِ كلِّ مجرَّةٍ للرجوع إليها، وأنَّ زوجاً من أقتم خطوط الامتصاص، H و K للكالسيوم المتأيِّن، قد وُسِما في أعلى الطيف المرجعيّ إلى اليسار في مواضعهما غير المُنْزاحة. يَنْزاح هذان الخطَّان نحو الأحمر (إلى اليمين من الصُّوَر) بمقادير متزايدة في حالة المجرّات البعيدة.

بالاستعانة بالشكل 3.7(أ) ارسم خطّاً بيانياً تقريبياً تمثِّل كلُّ نقطةٍ فيه سرعةَ تراجُع إحدى هذه المجرّات وبُعدها. ماذا تلاحظ عندما ترسم خطّاً منحنياً سلساً يصل بين النقاط الخمس؟ وضِّحْ ذلك ....

....

....

الجواب: تقع النقاطُ الخمسُ كلُّها على استقامة واحدة (الشكل 3.7(ب)).

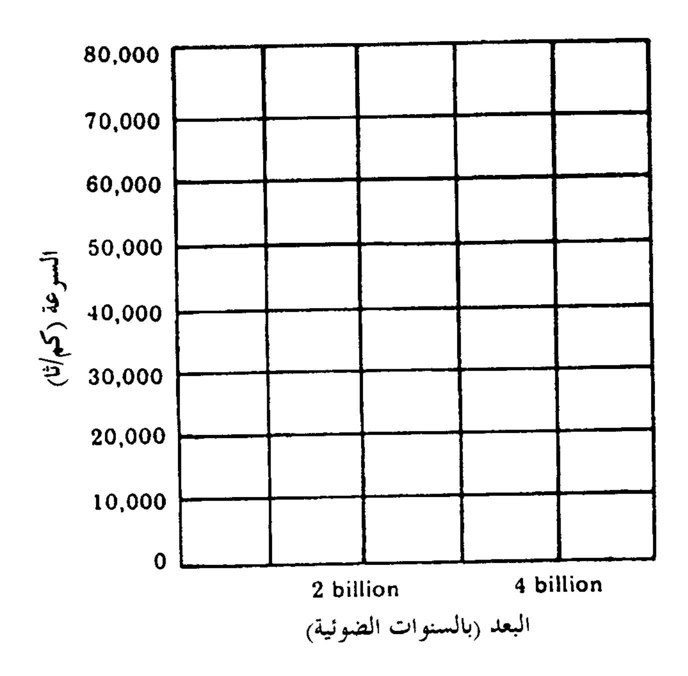


الشكل 2.7 الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها في خمس مجرّات. المسافات محسوبة في حالة ثابت هَبلْ المساوي 15 كم/ ثا/ مليون سنة ضوئية.

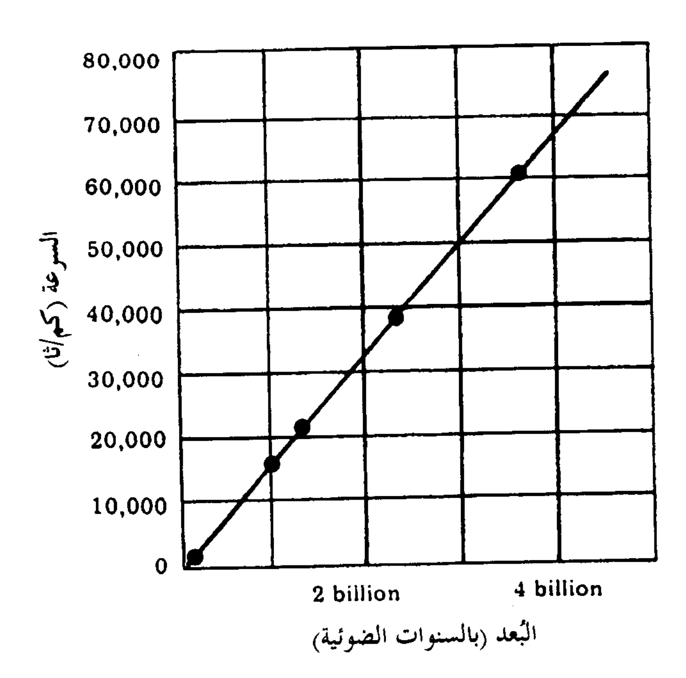
وهذا يعني وجود علاقة خطِّيَّة بين سرعة تَراجُع هذه المجرّات وبُعدها عنّا.

4.7 علاقة السرعة بالمسافة

قضى عالِم الفلك الأمريكيُّ إدوين هَبلْ جُلَّ سِنِيِّ حياته باحثاً في المجرّات، فراح يدرس العلاقةَ بين بُعدها وسرعة انحسارها. واكتشفَ أن العلاقةَ الخطيّة التي وجدتَها توّاً علاقةٌ صحيحةٌ على وجه العموم: وهي تزايُد



الشكل 3.7 (أ) شبكة متسامتة لمخطَّط السرعة مقابل البُعد.



الشكل 3.7 (ب) مخطَّط هَبلْ لخمس مجرّات.

سرعة انسحاب المجرّات مع تزايد بُعدها. [وهذا ما يسمى علاقة السرعة بالمسافة velocity-distance relation].

ينصُّ قانون هَبلْ Hubble law (1929) على أن سرعة الانحسار (v) لمجرّة يتناسب طرداً مع بُعدها (d) عنّا، ونكتب:

v = Hd حيث (H) هو ما يسمّى ثابت هَبلْ Hubble constant.

وتتجلى أهمية ثابت هَبلْ في أنه يعطي معدَّل انحسار المجرّات، أي معدَّل توسُّع الكون. ويُستعمل في قانون هَبلْ أيضاً لحساب المسافات إلى المجرّات من انزياحاتها الحمراء المقيسة.

وليس من السهل تحديد ثابت هَبلْ بدقة، ذلك بسبب وجود ارتيابات في سلَّم المسافات المجرِّية. وكثيراً ما تُعَدَّل قيمتُه المعلَنَة، وهي تقع على وجه التقريب بين 50 و 100 كم/ ثا/ ميغا فرسخ فلكي (15 و 30 كم/ ثا/ مليون سنة ضوئية).

علمتَ فيما تقدَّم أن لبعض الكوازَرات أكبرَ انزياحاتٍ حمراءَ رُصدت حتى اليوم (الفقرة 20.6). فإذا كانت هذه الظاهرةُ مفعولاً دوبلرياً، وهذه الكوازرات تبتعد عنّا بسرعة أكبر من كل المجرّات المعروفة، فماذا تقول في بُعدها؟ وضِّح إجابتك ....

....

....

الجواب: هذه الكوازرات هي أبعدُ الأجرام التي تستطيع رصدها؛ فقانون هَبلْ ينصّ على أن أبعد الأجرام هي أسرعها ابتعاداً عنّا.

5.7 المقدمة المنطقية

إن الافتراضَ الأساسيَّ الذي نكوِّنه في إطار مسعانا لإدراك كُنْه الكون يسمّى المبدأ الكوني cosmological principle.

ينصّ المبدأُ الكوني على أن الكونَ متجانسٌ homogeneous ومُتَنَاح[1] isotropic على نطاق كبير؛ أي إن توزُّعَ المادة واحدٌ في كلِّ مكان من فضاء الكون وفي كل زمان، وإن الكون يبدو موحَّد الخواصّ في جميع الاتجاهات.

وليس للفضاء الذي يلينا مباشرةً ميزةٌ خاصة؛ فقوانين الفيزياء عامةٌ شاملة، أي إن راصداً في أي مكان من الكون قد يرى في وقت معين ما نراه نحن إلى حدٍّ بعيد.

من هنا تبرز أهميةُ المبدأ الكوني في أنه يتيح لنا افتراض أن هذا الجزء الصغير الذي نستطيع رصده من الفضاء يمثِّل حقاً سائرَ الكون الذي لا نستطيع رصده. وهو يسمح لنا كذلك بصوغ نظريةٍ تفسّر الكون كلَّه، حتى تلك الأجزاء التي لا نتمكن من رصدها.

تُبيِّن أرصادُنا أن المجرّاتِ النائيةَ تجري مبتعدةً عنّا. فهل يعني ذلك أن مجرّتنا درب التبّانة هي مركزُ الكونِ كلِّه؟ فسِّر ذلك ....

....

....

الجواب: لا. فالمبدأ الكونيُّ يقضي بأنك لو نظرتَ في الفضاء الكوني من أيِّ مجرَّةٍ أخرى لرأيتَ عدداً مقارباً من المجرَّات الواقعة في كل اتجاهات الفضاء، وهي تجري مبتعدةً عنك.

يمكنك القيام بتجربة بسيطة لتمثيل المبدأ الكوني (الشكل 4.7). خذ بالوناً، واجعل سطحه الخارجي يمثِّل فضاء ثلاثيَّ الأبعاد. أثبتْ عليه نقاطاً كيفما اتفق تمثِّل المجرَّات، وعلِّم إحداها (د ت) رمزاً لمجرَّتنا درب التبّانة.

(1) التناحي isotropy: توحُّد الخواصّ، أي تساويها في جميع الاتجاهات. (المعرِّب)



الشكل 4.7 إن البالون المنتفِخ يمثّل نموذجاً منطقياً لمفهوم الكون المتوسّع.

انفخ البالون فينحني إلى «البُعد الرابع». انظر كيف تتباعد النقاطُ (المجرَّاتُ) أكثر فأكثر مع استمرار النفخ وتَمَطُّط البالون. («البُعد الرابع» هو الزمن. والحجم داخل البالون يمثِّل الماضي، وخارجه يمثِّل المستقبل).

6.7 نظرية الانفجار العظيم

تفترض نظريةُ الانفجار العظيم Big Bang أن الكون قد خُلِق بحَدَثٍ انفجاريٍّ عنيف جداً يسمّى الانفجار العظيم، وهو منذئذٍ في حالة تطوُّرٍ وتوسُّع. كانت البداية ـ وفقاً لهذه النظرية ـ منذ 10 ـ 20 مليار سنة خلت.

فقد كانت جملةُ مادةِ كوننا الحالي وإشعاعِه متكتِّلةً في ما يسمى كُرَة النار البدائية primeval fireball، وهي حالةٌ بلغت غاية الحرارة والكثافة تمدَّدَ منها الكونُ بسرعة، فكان الانفجارُ العظيم بدايةَ ذلك الزمن والفضاء الذي نعرفه.

تمدَّدتِ المادةُ والإشعاعُ الناجمَيْن عن الانفجار الأول تمدُّداً سريعاً، ثم حصل بعد ذلك تبرُّد. وفي غضون بضع ثوانٍ تكوَّنت البروتونات (نوى الهيدروجين) والنترونات والإلكترونات. وفي دقائق معدودة وُجد الديوتريوم

(الهيدروجين الثقيل) الأول ونوى الهليوم، إضافةً إلى أثارةٍ من عدة عناصر خفيفة.

وبمرور عدة ملايين من السنين، انفصلت المادةُ عن الإشعاع، وبدأت المجرّاتُ والنجومُ بالتكوُّن، وهكذا استمرَّ الكونُ بالتوسُّع في المكان والزمان، والمجرّاتُ بالتباعد منذ ذلك الحين.

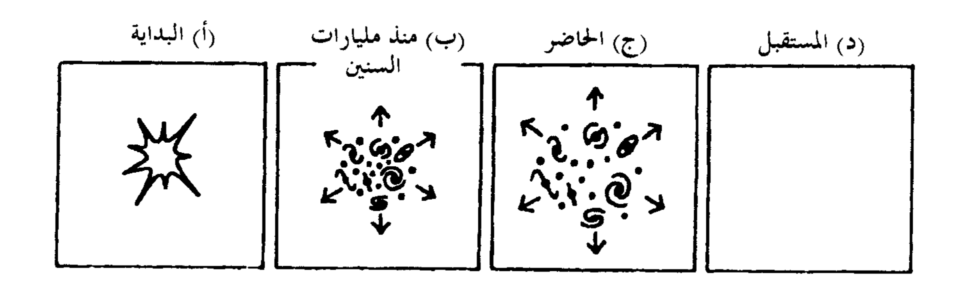
والملاحَظ اليوم أنَّ الكونَ مازال في توسُّعٍ دائم؛ فالنجوم تتكوَّن داخلَ المجرَّات من الهيدروجين الأصلي الذي يعود إلى عهد الانفجار العظيم. وقد وُجِدَ أن مادّة الكون المرصودة تتألف من 74 في المئة من الهيدروجين و 24 في المئة من الهليوم على وجه التقريب، يُضاف إليها مقاديرُ ضئيلةٌ من عناصر أخرى خفيفةٍ مثل الديوتريوم والليثيوم، كما هو متوقَّع.

هذا ويَقْبل معظمُ علماء الفلك بالوصف الذي تعطيه نظريةُ الانفجار العظيم للمراحل الماضية والحاضرة للكون. إلا أن التوقُّعاتِ متفاوتةٌ حول المستقبل، ولاسيما عندما يُستنفَد الهيدروجين الأصلي في النجوم في آخر المطاف، فتتوقَّف عن السطوع. حينئذ سيتقرَّر المصيرُ النهائيُّ للكون بنتيجة ظهور إحدى قوَّتين على الأخرى: التوسُّع الخارجي، وجذب الثقالة الداخلي.

ويرى نموذجُ الكون المفتوح open universe أن الكون مستمرٌّ في التوسُّع إلى ما لانهاية[1]، ثم إنه، هذا الذي بدأ بانفجارٍ ناريٍّ عظيم، سوف يخبو منتهياً إلى ظلامٍ دامس ترافقه «زفرةٌ» واهية.

من الشكل 5.7 أوجِزْ مراحلَ الكون المفتوح وفقاً لنظرية الانفجار العظيم.
(أ) .... ؛ (ب) .... ؛ (ج) .... ؛ (د) ....

(1) قال الله تعالى في التنزيل العزيز: ﴿والسماءَ بنيناها بأيدٍ وإنّا لموسِعون﴾. [الذاريات 47]. (المعرِّب)



الشكل 5.7 مراحل الكون المفتوح (نظرية الانفجار العظيم).

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكوُّن المجرّات؛ (ج) استمرار المجرّاتِ بالانحسار، والكونِ بالاتّساع؛ (د) استنفادُ الهيدروجين الأصلي، واستمرارُ الكون المظلم البارد - الناجم عن ذلك - بالتوسُّع اللانهائي.

7.7 الانكماش العظيم

يرى نموذجُ الكون المغلق closed universe أن الكون - الذي بدأ بالانفجار العظيم - لن يستمرَّ في التوسُّع إلى الأبد، بل إن قوة الثقالة ستوقف تمدُّده وتفرض حالةً من الارتصاص أو الانكماش.

فإذا كان الكونُ مغلقاً فعلاً، فإننا اليومَ نعيش مرحلةَ التمدُّد المنظور، وهذا يستتبع أن الكون في المستقبل سوف يتباطأ إلى أن يتوقف تماماً، ثم يبدأ بالانقباض. وفي أثناء انقباضه سوف تنكفئ المجرّاتُ نحو الداخل بحيث يتَّجه بعضُها نحو بعض، إلى أن تنكمش المادَّةُ كلُّها من جديد، متحوِّلةً إلى حالةٍ بالغة الحرارة والكثافة.

أما نموذج الكون المتأرجح oscillating universe فيتوقَّع أن انفجاراً عظيماً آخر سوف يَعْقب حالة الانكماش العظيم Big Crunch المشار إليها آنفاً، وأن ذلك سيفسح المجالَ لولادة كونٍ جديد متَّسع من المادة نفسها. وهكذا يكون الكون في تأرجحٍ بين التوسُّع والانكماش إلى الأبد.

من الشكل 6.7 أوجِزْ مراحلَ الكون المغلق وفقاً لنظرية الانفجار العظيم.

(أ) ....

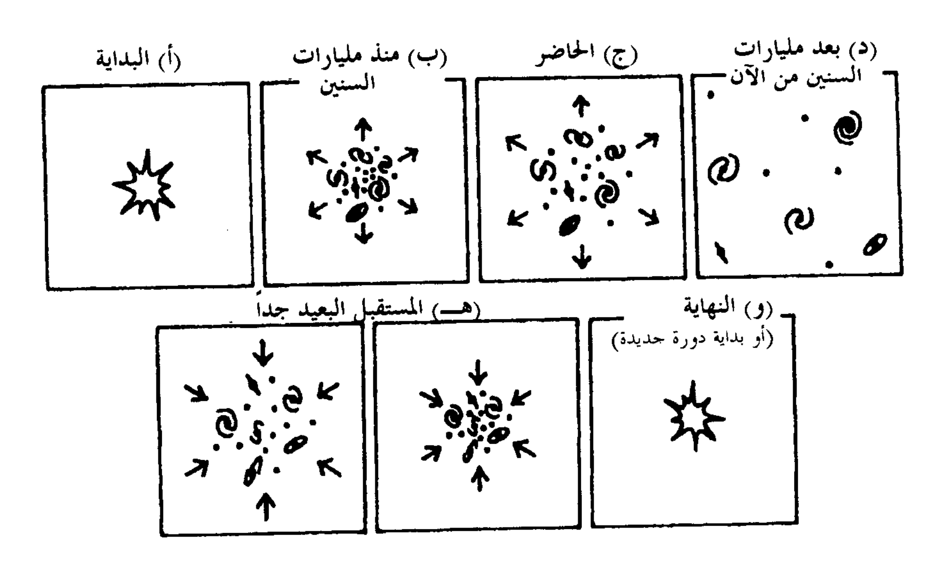
(ب) ....

(جـ) ....

(د) ....

(هـ) ....

(و) ....



الشكل 6.7 مراحل الكون المغلق (المتأرجح) (نظرية الانفجار العظيم).

الجواب: (أ) حدوث الانفجار العظيم؛ (ب) تكوُّن المجرّات وأخذها بالانحسار المستمر؛ (ج) حياتنا في كونٍ متوسِّع، وتباعُد المجرّات إحداها عن الأخرى اليوم؛ (د) توقُّف المجرّات في المستقبل؛ (هـ) انكماش الكون، وانكفاء المجرّات نحو الداخل؛ (و) انكماش المادة من جديد.

8.7 نظرية الحالة المستقرَّة

كانت نظريةُ الحالةِ المستقرة Steady State theory منذ بضعة عقود نِدّاً لنظرية الانفجار العظيم، فهي ترى أن الكون لا يتطوَّر أو يتغيَّر مع الزمن، إذ لم يكن لَه بدايةٌ في الماضي ولن تكون له نهايةٌ في المستقبل؛ فماضي الكون وحاضرُه ومستقبلُه واحدٌ إلى الأبد.

تعتمد هذه النظريةُ المبدأَ الكونيَّ الكامل perfect cosmological principle الذي يقضي بأن الكونَ واحدٌ لا يتغيَّر في كلِّ مكان وزمان، وهو يحافظ على كثافةٍ وسطية واحدة للمادة إلى الأبد[1].

ولتفسير مسألة الاتِّساع المطَّرد للكون، يَذكر نموذجُ الحالة المستقرَّة أن هيدروجيناً جديداً يتولَّد في الفضاء باستمرار، بمعدَّلٍ يكفي لاستخلاف المادة التي حملَتْها بعيداً المجرّاتُ المنحسرة. إلا أنَّ النظريةَ لم تُشِرْ إلى مصدر الهيدروجين الجديد المتولِّد.

يجدر بالقول إنَّ نظريةَ الحالة المستقرَّة لا تلقى قبولاً لدى معظم علماء الفلك، لأنها تتنافى والوقائعَ العملية الثابتةَ علمياً: فَتَوَلُّد كتلة جديدة لا تفسير لها - وهي بالطبع شكلٌ من أشكال الطاقة - خروجٌ على ثوابت القانون الطبيعي في حفظ الطاقة، وهو ينصّ على أنَّ جملةَ الطاقة في نظامٍ مستقلٍ

(1) إن ثبات مظهر الكون (وفقاً لنظرية الحالة المستقرَّة) هو سبب تسميته كونَ الحالة المستقرّة، وهو يختلف اختلافاً واضحاً عن الكون كما تقتضيه نظريةُ الانفجار العظيم، حيث يصبح الفضاءُ أكثر فأكثر خلاءً بتباعُد المجرّات. (المعرِّب)

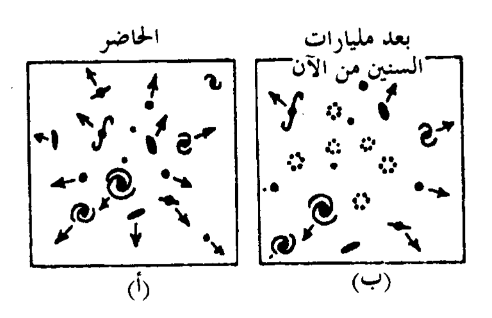
ثابتةٌ لا تتغيَّر، وأنَّ الطاقة لا يمكن خَلْقُها أو تدميرها، وإن كان من الممكن حدوث تحوُّلات فيها ضمن المنظومة.

ومع ذلك، تحظى نظريةُ الحالة المستقرّة عند أنصارها باستحسان فلسفيّ؛ فهم يقولون إنها أعطت تعريفاً لكونٍ وُجِدَ في الماضي وسيبقى موجوداً دوماً في المستقبل. علماً بأن ثمة فرضيةً بقيت دون أن تتعرَّض لها نماذجُ التطوُّر البتة، وهي التي قالت بوجوب تولُّد عناصرَ ثقيلةٍ في نجومٍ منفجرة، وطُرِحت لتفسير وجود تلك العناصر من غير حدوث انفجارٍ عظيم.

من الشكل 7.7 أوجِزْ وصفَ الكون وفقاً لنظرية الحالة المستقرّة.

(أ) ....

(ب) ....



الشكل 7.7 مراحل تطوُّر الكون (نظرية الحالة المستقرة).

الجواب: (أ) انحسار المجرّات، وتوسُّع الكون، وتولُّد مادَّةٍ جديدة، وتكوُّن مجرَّاتٍ جديدة؛ (ب) يتكرَّر هذا النموذج نفسه. يحافظ الكونُ على كثافةٍ وسطية واحدة إلى ما شاء الله.

9.7 اختبارات رصدية

يَختبِر علماءُ الفلك نموذجاً كونياً من منطَلَق: أمتوافقٌ مع كلِّ المعطياتِ

الرصدية التي في حوزتهم عن الكون أم غير متوافق؟

والطريقةُ المباشِرة لمعرفة آليَّة تطوُّر الكون هي مقارنةُ مظهره اليومَ بمظهره قبل مليارات السنين. ولما كان من المتعذِّر علينا عملياً إجراء أرصاد تستغرق مليارات السنين بسبب تقدُّم عُمر الكون، يلجأ الفلكيون بدلاً من ذلك إلى معاينة مجرّاتٍ تبعد عنّا مسافات متفاوتة.

صحيحٌ أن دراسةَ صُوَر حديثة لمجرّات نائية يمكِّنك من النفاذ إلى معرفة ماضيها الزمانيّ السحيق[1]، وهي فكرةٌ تبدو بسيطةً إلا أنها عسيرة التنفيذ، لأن التكنولوجيا لم تَبلغْ بَعدُ في تطوُّرها مرحلةً تتيح تصوير الأجرام النائية تصويراً تفصيلياً.

ومن ثَمّ فإن كلَّ المعطيات التي قد تُستعمَل لاختبار النماذج الكونيَّة تزخر بالارتيابات؛ فليس ثمة معطيات حتى اليوم على درجة كافية من الدقة يمكن أن تؤكِّد أن أيّاً من النماذج صحيحٌ تماماً.

كيف يتمكن علماءُ الفلك من الكشف عن مظهر الكون (أ) منذ مليونَيْ سنةٍ خلت؟ (ب) منذ ثلاثة مليارات سنةٍ خلت؟ فصِّل إجابتك ....

....

....

....

....

الجواب: لعلَّ الطريقة المباشرة لذلك هي دراسة صُوَرٍ للمجرّات من قبيل (أ) أندروميدا (المرأة المسلسلة)، التي تبعد عن الأرض نحواً من 2,2 مليوني سنة ضوئية، و(ب) هايدرا (الشجاع)، التي تبتعد زهاء 3 مليارات سنة

(1) راجع الفقرة 15.6. (المعرِّب)

ضوئية. يستغرق الضوءُ سنةً واحدةً للانتقال سنةً ضوئيةً واحدة؛ فالضوء الذي نتلقاه نحن الآن غادَرَ أندروميدا قبل 2,2 مليوني سنة، أو هايدرا قبل 3 مليارات سنة. وبذلك نعلم الآن حالَ الكون حينئذ.

10.7 ثابت هَبلْ المتقلّب

يقوم علماءُ الكون بمقارنة قيمة ثابت هَبلْ اليوم بقيمته قبل مليارات السنين لتحقُّق توقُّعاتهم.

وواضحٌ أن ثابت هَبلْ لا يظلُّ ثابتاً بل يتناقص بمرور الزمن، وهذا يدلُّ على أن اتساعَ الكون آخذٌ في التباطؤ.

تتنبأ الدراساتُ النظريةُ بحدوث تباطؤٍ deceleration إذا كانت قوةُ الثقالة هي المؤثِّرَ الوحيد. ولا بدَّ من أن يكونَ ثابتُ هَبلْ اليومَ أصغرَ منه منذ مليارات السنين، لأن مركّبات الكون تتجاذب في ما بينها بفعل قوة الجذب التثاقلي.

ويكون ثابت هَبلْ أسرعَ تناقصاً في نموذج الكون المغلق، منه في نموذج الكون المفتوح. فإذا كان الكونُ مغلقاً فعلاً فهو يتباطأ بمعدَّلٍ سوف يفضي به إلى التوقُّف الكامل.

من ناحيةٍ أخرى، يقول نموذجُ الكون المنبسط flat universe إنَّ الكون لن يتوسَّع لانهائياً، كما أنه لن ينكمش، بل سيؤول التباطؤُ وسرعةُ التوسُّع في نهاية الأمر إلى الصغر في آنٍ معاً.

إن النتائجَ المتعلقة بثابت هَبلْ غيرُ دقيقة، ولا يمكن اعتمادها قِيَماً نهائيةً بحال من الأحوال، وذلك بالنظر إلى غياب وسيلة لقياس المسافات إلى الحشود المجرّية بدرجة عالية من الضبط والدقة حتى اليوم.

مِمَّ تنبع أهميةُ توخّي الدقة الكبيرة في قياس قيمة ثابت هَبلْ؟ ....

....

الجواب: إن القيمةَ الدقيقةَ لثابت هَبلْ تنهض دليلاً مؤيِّداً لواحد من النماذج الكونية التي استعرضناها آنفاً. ويُستعمل ثابت هَبلْ لحساب عُمر الكون وحدوده.

11.7 المادة والطاقة

إنَّ من شأن المشاهدات التي تتناول كثافةَ المادة (والطاقة) في الكون أن تضيف أدلَّةً أساسيةً للاختيار من بين النماذج الكونيَّة المتاحة.

تعرَّف الكثافةُ الحرجة critical density للمادة بأنها متوسط الكثافة الدنيا اللازمة لقوة الثقالة كي تُوقِف تمدُّدَ الكون دون أن تعكسه[1]، وقيمتُها المحسوبة نظرياً منوطةٌ بقيمة ثابت هَبلْ (وهي قيمة غير دقيقة)، لكنها تقارب 10^{-29} غ/سم3، أو بضع ذرات من الهيدروجين لكلّ متر مكعب.

إن وفرة عنصر الديوتريوم في الفضاء اليوم تضع حدّاً لأعلى مقدار من المادة العادية يمكن وجوده في الكون. ويُفترَض أساساً أن كلَّ الديوتريوم الموجود فعلاً قد تولَّد من الانفجار العظيم، ومن ثم فارتباطه وثيقٌ بالكثافة الأصلية للمادة. وتدل المشاهداتُ العلمية على أن الانفجار العظيم لم يولِّد أكثر من 0,1 من المادة العادية، إضافةً إلى القوة التثاقلية الناجمة، واللازمة في نهاية الأمر لإيقاف التوسُّع المرصود.

يُطلَق اسم أوميغا Omega (رمزها ؟) على نسبة متوسط كثافة المادة

---

(1) أي إنها الكثافة اللازمة لكونٍ مغلق. فإذا تجاوزتْ كثافةُ الكون الفعليةُ الكثافةَ الحرجةَ (المحسوبة نظرياً) توقَّفَ عن التوسُّع وانكمش، وإذا كانت كثافتُه أقلَّ منها واصلَ توسُّعَه إلى ما لا نهاية. أما كثافةُ الكون فيحسبها علماءُ الفلك باختيار حجم محدود من الفضاء وإحصاء عدد المجرّات فيه. تُحسَب كتلةُ كلِّ مجرَّة، ثم تُقسَم الكتلةُ الإجمالية للمجرّات على الحجم المختار. (المعرِّب)

المرصودة إلى إشعاعها أو أثرها التثاقلي على القيمة الحرجة. ووُجد أن هذه النسبة أقل من 1 حالياً، وأن قوةَ الثقالة التي تقابلها لا تستطيع إيقاف التوسُّع البتَّة. إذاً يبدو أن الكون مفتوح.

ولا بدَّ من وجود ما يسمّى مادة الكتلة المفقودة missing mass أو ما يكافئها من طاقة لم تُكتشَف بعد، مقابل كثافة حَرِجة للمادة أو متوسط كثافة أعلى لها. ومن الممكن وجود نيوترينوات كبيرة، أو أجرام هاليّة متراصّة ضخمة massive compact halo objects («ماخوهات» MACHOs اختصاراً)، أو جسيمات كبيرة ضعيفة التآثر weakly-interacting massive particles (ومْبات WIMPs). وقد يعمل الثابتُ الكونيّ cosmological constant (يُرمز له بالحرف اليوناني لامدا Λ) - المكافئ لطاقةٍ هائلة، وهو الذي أدخله أينشتاين أول مرة على نظرية النسبية العامة - على زيادة قوة الجذب التثاقلي أو إنقاصها.

ما الأهميةُ الكونيَّةُ المحتملة لاكتشافات جديدة تتَّصل بالكتلة والطاقة غير المرصودتين في الكون حتى الآن؟ ....

....

....

الجواب: ستكون كثافةُ المادة في الكون أكبر من قيمتها الحالية المرصودة. وقد تكون كافيةً لإيقاف توسُّع الكون أو عكسه. وربما كان الكون منبسطاً أو مغلقاً، مع أنه يبدو اليومَ مفتوحاً.

12.7 الإشعاع الكوني

تتنبّأ نظريةُ الانفجار العظيم بأن الكون سيمتلئ بإشعاع الخلفية الكونيّ cosmic background radiation، وهو بقيةٌ من الإشعاع تخلَّفتْ عن الانفجار العظيم الأصلي.

ويُعتَقَد أن كرة النار البدائية قد أَطلقتْ في الفضاء إشعاعاً قوياً قصير الموجة (يماثل درجةَ حرارةٍ تصل إلى تريليونات الدرجات) في جميع الاتجاهات، بما يشبه انفجار قنابل ذرية عملاقة. سينتشر ذاك الإشعاعُ في المستقبل، ويبرد مالئاً الكون المتوسِّع مَلْئاً منتظماً. لكنه سيصيب الأرضَ الآن على صورة إشعاعِ أمواجٍ صغرية (راديوية قصيرة short radio) يعادل درجةَ حرارة لا تتجاوز بضعَ درجات فوق الصفر المطلق.

في سنة 1965 تمكَّن الفيزيائيان الأمريكيان آرنو پِنْزياس Arno Penzias وروبرت ويلسون Robert Wilson من رصد إشعاعِ أمواجٍ صغرية آتية بالتساوي من كل الاتجاهات في السماء، ليلاً ونهاراً على مدار العام. وهو شبيهٌ بالإشعاع الذي يطلقه جسمٌ أسود عند درجة الحرارة 2,7 كلفن، ويتميَّز باطّراده وانتظامه في كلِّ مكان.

وأخيراً كَشَفَ علماءُ الفلك في ما يبدو إشعاعَ كرة النار الذي ولَّده الانفجار العظيم عندما بدأ الكون.

ماذا يعني اكتشاف إشعاعِ الخلفيةِ الكوني لنظرية الحالة المستقرة؟ ....

....

الجواب: إنه يُبطِل نموذجَ الحالة المستقرة، إذ يعجِز النموذجُ عن إعطاء تفسيرٍ لوجود هذا الإشعاع.

13.7 جوانب نجاح نموذج الانفجار العظيم

لَخِّص الأرصادَ التي نَجَح نموذجُ الانفجار العظيم في تفسيرها ....

....

....

....

الجواب: يجب أن تشمل إجابتُك الجوانبَ التالية: (1) الانزياحات الحمراء للمجرّات النائية؛ (2) إشعاع الخلفية الكوني؛ (3) وفرة الهيدروجين والهليوم.

14.7 تساؤلات تتعلق بالانفجار العظيم

أخفقَ النموذجُ القياسيُّ للانفجار العظيم في تفسير إفضاء تلك البداية الانفجارية إلى تجانُس إشعاع الخلفية الكوني والبنية الواسعة للكون المرصود.

ثم حتى لو كان التوزُّعُ الأولِيُّ للطاقة والمادة سَلِساً، فإن قوةَ الثقالة وحدَها لم تكن لتكفي ـ ضمن حدود العُمر المحسوب للكون ـ لتكتيل المادة في الحشود المجرّية والحشود الفائقة التي نرصدها. فمن المحتمل إذن أن يكون ثمة شيءٌ من اللاتناحي[1] anisotropy واللاتجانس inhomogeneity في بدايات الكون.

في سنة 1981 اقترح الفيزيائيُّ الأمريكي آلن غوث Alan Guth فكرةَ التوسُّع الانفجاري inflation، وهي مرحلةٌ وجيزةٌ من التوسُّع الخاطف أعقبت الانفجار العظيم، لتسويغ الامتداد الرحيب للكون، واتّساقِه وتشاكُلِه. وناقشَ قضيةَ التسطُّح flatness problem التي تتناول الأسبابَ التي تحمل على ما قد يرقى إلى الجزم بأن كثافة الكون عند فجر ولادته كانت قريبة جداً من الكثافة الحرجة. وتُحَلُّ هذه القضيةُ بإضافة نموذج الكون الانفجاريّ التوسُّع inflationary universe إلى نظرية الانفجار العظيم Big Bang، مع ملاحظة أن التوسُّع يتسارع عندما تعمل طاقةُ كتلةٍ دخيلة على نبذ الثقالة[2].

---

(1) اللاتناحي: تباين الخواص في جميع الاتجاهات. (المعرّب)

(2) انظر إن شئت مقالةً بعنوان Cosmic Inflation Comes of Age بقلم ستيف ناديس. في مجلة Astronomy، عدد شهر نيسان (أبريل) 2002، الصفحات 28 ـ 32. ففيها فَضْل بيان عن أفكار آلن غوث في التوسّع الانفجاري. (المعرّب)

وقد رَصَدَ الساتلُ الربوطيّ الأمريكيّ المسمّى كشّاف إشعاع الخلفيّة الكوني Cosmic Background Explorer (COBE) اختلافاتٍ حراريةً طفيفةً في متوسط درجة حرارة السماء البالغ 2,7 كلڤن. تُمثِّل تلك الاختلافاتُ تموُّجاتٍ عريضةً لمادةٍ خيطية الشكل ربما تكون قد نَمَتْ داخل المجرّات والحشود المجرّية والخواءات الضخمة في الفضاء اليوم (الشكل 8.7).

على أنّ نموذج أينشتاين ـ دو سيتر Einstein-de Sitter المفضّل في علم الكون الانفجاري يَستدعي أن يكون الكونُ متجانساً ومنبسطاً. ويَفترِض أنصارُ هذا النموذج أن كميةً كبيرةً جداً من مادةِ الكون أو طاقته ذاتُ طبيعة غريبة تستعصي على الكشف.

ولعلّ الأرصادَ المقبلة تكشف عن أنواع وكميات الطاقة الكتلية الموجودة فعلاً.

يودّ قلّةٌ من علماء الفلك التخلّي عن نظرية الانفجار العظيم كليّاً. اذكر اثنين من المحاذير الرئيسية بهذا الشأن اليوم

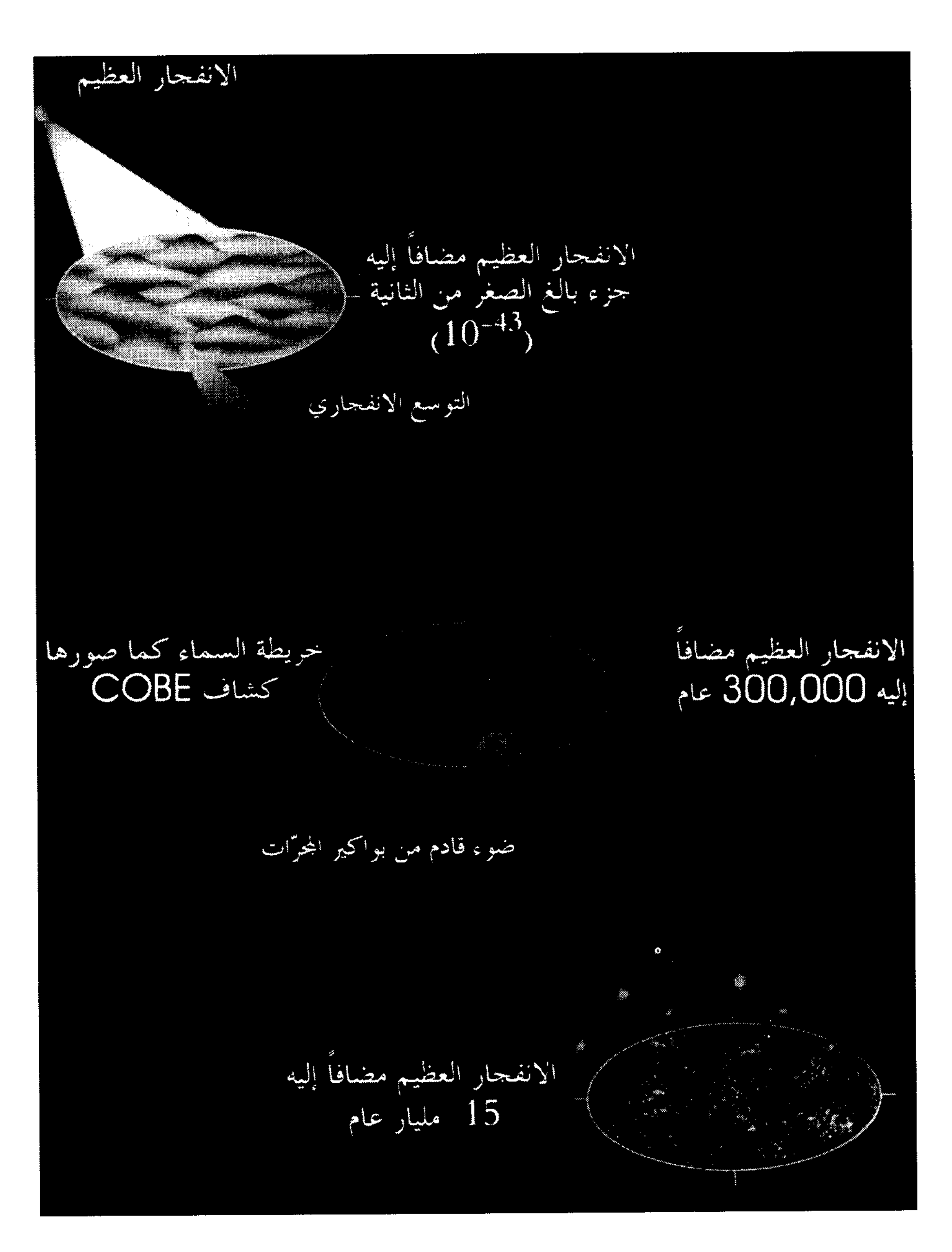
(1) ....

....

(2) ....

....

الجواب: (1) ظهور نموذجٍ يبيّن آلية تطوُّر الكون بعد اللحظات الأولى من الانفجار العظيم، وهو ينسجم والبنية الواسعة المرصودة من الكون؛ (2) الكشف الصريح عن المادة القاتمة، بشكلها المألوف أو الغريب.



الشكل 8.7 تاريخ الكون (نموذج الانفجار العظيم المتمدِّد انفجارياً).

15.7 عُمر الكون

تَميل تقديرات عُمر الكون إلى الزيادة، من بضعة آلاف السنين إلى الملايين ثم إلى مليارات السنين.

تقوم التقديراتُ القياسيةُ لعُمر الكون على قيمة ثابت هَبلْ. واستناداً إلى ذلك، يكون عُمر الكون منذ الانفجار العظيم (ويسمى زمن هَبلْ Hubble time) مساوياً 1/H. لكن ثابت هَبلْ مازال غير دقيق ويتعرض لشيءٍ من التعديل لحساب التباطؤ الذي اعترى الكون في ماضي الزمان. هذه الطريقة تقدِّر عُمرَ الانفجار العظيم بين 10 مليارات و20 مليار سنة.

كذلك يعطي قياسُ تقادُم النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية أعماراً قريبةً مما سبق. فقد قدَّر عالِمُ الفلك الأمريكيُّ ديڤيد شرام David N. Schramm (1945 ـ 1997) عُمر الكون بعشرين مليار سنة، عن طريق حساب مقدار ما اضمحلَّ من عنصر الرينيوم 187 الإشعاعيّ النشاط منذ تكوُّنه أوّل مرة في المراحل الأولى الفتيّة من تاريخ مجرّة درب التبّانة. وهناك وسيلةٌ أخرى قُدِّر فيها عُمر الكون استنباطاً من عُمر أقدم النجوم، وتبيَّن أن عُمره بهذه الطريقة يقع بين 13 مليار و18 مليار سنة.

اذكر ثلاث طرائق لتقدير عُمر الكون.

(1) ....

....

(2) ....

....

(3) ....

....

الجواب: (1) قياس ثابت هَبلْ H وزمن هَبلْ الذي يساوي 1/H؛ (2) قياس درجة اضمحلال النشاط الإشعاعي للصخور والأحجار النيزكية؛ (3) الاستدلال من أعمار أقدم النجوم المرصودة.

16.7 حدود الكون

تعتمد تقديراتُ نصف قطر الكون أيضاً على قيمة ثابت هَبلْ اعتماداً كبيراً. فالمسافة إلى حافة الكون المرصود (وتسمى شعاع هَبلْ Hubble radius) تساوي سرعةَ الضوء (c) مقسومةً على ثابت هَبلْ (H)، أي c/H. وتُظهِر هذه التقديرات أن نصف قطر الكون يقع بين 12 مليار و16 مليار سنة ضوئية (الشكل 9.7).

وتظلُّ التساؤلاتُ البشريةُ الأزليّة ـ من قبيل: كيف بدأ العالَم؟ وهل سينتهي؟ ـ ماثلةً لا يجد العِلم لها جواباً سديداً حتى اليوم.

استعرِضْ مجموعة التقديرات التي صارت بحوزتك عن الكون، باستكمال مايلي:

الكون المرصود كما يبدو اليوم

(أ) معدَّل انحسار مجرّاته النائية (ثابت هَبلْ) ....

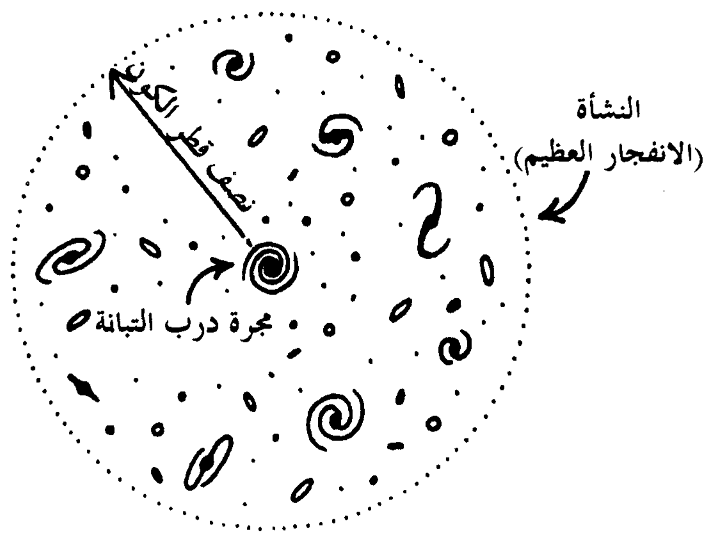
....

(ب) نصف قطره التقريبي ....

(ج) عمره التقريبي بشكله الحالي ....

الجواب:

(أ) من 50 إلى 100 كم/ثا/ميغا فرسخ فلكي (من 15 إلى 30 كم/ثا/مليون سنة ضوئية).



الشكل 7.9 شعاع هَبلْ.

(ب) من 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.

(ج) من 10 مليارات إلى 20 مليار سنة تقريباً.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل السابع وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. عرِّف علم الكون ....

....

2. بِمَ تختلف النماذجُ الكونية عن التفسيراتِ الدينية للكون؟ ....

....

....

3. صِف الدليلَ على أنَّ الكونَ يتوسَّع ....

....

....

....

....

4. اذكر نصَّ قانون هَبلْ ....

....

....

....

....

5. ما سببُ أهمية ثابت هَبلْ في علم الكون؟ ....

....

....

....

6. اذكر الافتراضَ الأساسيَّ للنماذج الكونيَّة كافة ....

....

....

7. اعزُ واحداً أو أكثر من النماذج الكونيَّة الثلاثة الرئيسية (نظرية الانفجار العظيم) إلى كلٍّ من العبارات التالية:

--	(أ) منذ 10 مليارات إلى 20 مليار سنة انفجرَ الكونُ إلى الوجود من حالة بلغت الغاية في الحرارة والكثافة.	(1) مفتوح. (2) مغلق. (3) منبسط.
--	(ب) إن كميةً كبيرةً من مادة الكون مادةٌ قاتمةٌ وذات طبيعة غريبة تستعصي على الكشف.	
--	(ج) تتباعد المجرّاتُ بسرعات تتزايد مع تزايد البُعد.	
--	(د) في المستقبل، سيتوسَّع الكونُ بلا حدود.	
--	(هـ) في المستقبل، سيتوقَّف الكونُ عن التوسُّع ثم ينكمش.	

8. اذكر ملاحظتَيْن أساسيَّتَيْن يمكن أن تساعدا في الاختيار بين كونٍ مفتوح وكونٍ مغلق.

(1) ....

(2) ....

9. ما الأهميةُ الكونيةُ لإشعاع الخلفيَّة الكوني؟

....

....

....

10. ما هو الإسهام الرئيسي لنموذج الكون المتوسِّع انفجارياً في نظرية الانفجار العظيم؟ ....

....

....

....

11. أعطِ (أ) عُمر هَبلْ التقريبي للكون ....؛ (ب) شعاع هَبلْ التقريبي ....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدّدت أخطاؤك.

1. علم الكون (الكوزمولوجيا) فرعٌ من العلم يُعنى بدراسة منشأ الكون وبنيته الحالية وتطوُّره ومصيره النهائي.

(الفقرة 7 . 1)

2. إن النماذجَ الكونية لا تسعى إلى إضفاء سببٍ أو معنىً خارقٍ للطبيعة على الظواهر الفيزيائية، بل تحاول تفسير هذه الظواهر بمقتضى قوانين الطبيعة والرياضيات حصراً.

(الفقرة 7 . 1)

3. يَنْزاح الضوءُ الوارد من المجرّات النائية في الطول الموجيّ نحو النهاية الحمراء للطَّيف، في ظاهرةٍ تسمّى الانزياحَ الأحمر. يزداد الانزياحُ الأحمر لمجرَّةٍ بازدياد بُعدها عنّا. ينحسر أبعدُ المجرّاتِ باطِّرادٍ عنّا، وبعضها عن بعض في آنٍ معاً.

(الفقرة 7 . 2)

4. ينصّ قانون هَبلْ على أن سرعةَ الانحسار (v) لمجرَّة يتناسب طرداً مع بُعدها (d) عنّا. ويُكتب جبرياً: $v = Hd$، حيث H هو ثابت هَبلْ.

(الفقرة 7 . 4)

5. لثابت هَبلْ أهمية كبرى لأنه يعطي معدَّل انحسار المجرّات، أو معدَّل توسُّع الكون. فهو إذن أساس تقدير حجمِ الكون وعُمرِه.

(الفقرات 4.7 و 10.7 و 15.7 و 16.7)

6. ينصُّ المبدأُ الكونيُّ على أن الكون متجانسٌ ومُتَناحٍ على نطاق كبير وفي أي زمان.

(الفقرة 5.7)

7. (أ) 1 و 2 و 3؛ (ب) 2 و 3؛ (ج) 1 و 2 و 3؛ (د) 1 ؛ (هـ) 2.

(الفقرات 2.7 و 6.7 و 7.7 و 10.7 و 11.7 و 14.7)

8. (1) معدَّل تغيُّر ثابت هَبلْ مع الزمن؛ (2) كثافة المادة في الكون.

(الفقرتان 10.7 و 11.7)

9. إن إشعاعَ الأمواج الصغريَّة الذي يصيب الأرضَ من جميع اتجاهات الفضاء يقدِّم دليلاً قوياً على نموذج الانفجار العظيم. والظاهر أنه البقيةُ المتخلِّفة من الإشعاع المنْزاح نحو الأحمر، المتولِّد من ذلك الانفجار.

(الفقرة 12.7)

10. ثمة مرحلةٌ وجيزةٌ من الاتساع الخاطف حدثت بُعَيْد الانفجار العظيم، قد تفسِّر كيف أن البدايةُ المتفجِّرة يمكن أن تفضيَ إلى تجانُس إشعاعِ الخلفيّة الكوني، وكذلك إلى تأليف البنية الهائلة للكون المرصود.

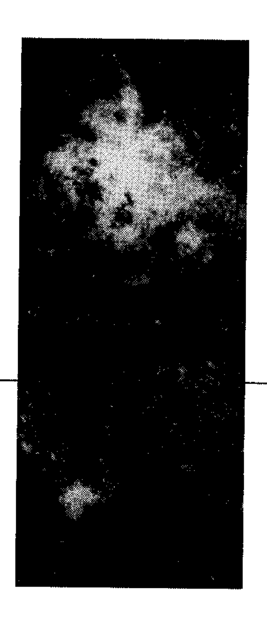
(الفقرة 14.7)

11. (أ) 10 مليارات إلى 20 مليار سنة؛ (ب) 12 مليار إلى 16 مليار سنة ضوئية.

(الفقرتان 15.7 و 16.7)

8

استكشاف المنظومة الشمسية



وأخيراً سنضع الشمس نفسها في مركز الكون.

نيكولاس كوپرنيكوس
De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)

الأهداف:

- ذِكر عناصر المجموعة الشمسية.
- بيان الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم.
- إيراد الدليل الداعم للنظرية السديميّة في تكوين المنظومة الشمسية.
- ذِكر أطوار القمر.
- إعطاء لمحةٍ إلى تطوُّر إدراكنا للمنظومة الشمسية، مع الإشارة إلى إسهامات كلٍّ من بطليموس، وكوپرنيكوس، وغاليليو، وتيخو براهه، وكپلر، ونيوتن.
- عرض القوانين التي تحكُم حركةَ الأجسام تحت تأثير قوة الثقالة.
- تفسير الحركات الظاهرية للكواكب، ومنها الحركة التراجعية.

- بيان الاختلاف بين الشهر الفلكي للقمر وشهره الاقتراني.
- التمييز بين دوران الأجرام السماوية في مداراتها ودورانها حول محاورها.
- عرض حركات السواتل الطوّافة حول الأرض ومَرْكبات الفضاء البَيْكوكبيَّة (بين الكواكب).
- مقايسة الخصائص العامة للكواكب التسعة الكبيرة وأقمارها.
- وصف الكويكبات (الكواكب الثانوية).

1.8 وصف عام

تتألَّف منظومتُنا الشمسيةُ solar system من الشمسِ وجميعِ الأجرام المرتبطة بها تثاقلياً ـ وهي الكواكب التسعة مع أقمارها، والكويكبات (تسمى أيضاً الكواكب الثانوية)، والمذنَّبات، والغبار والغاز البَيْكوكَبيّ.

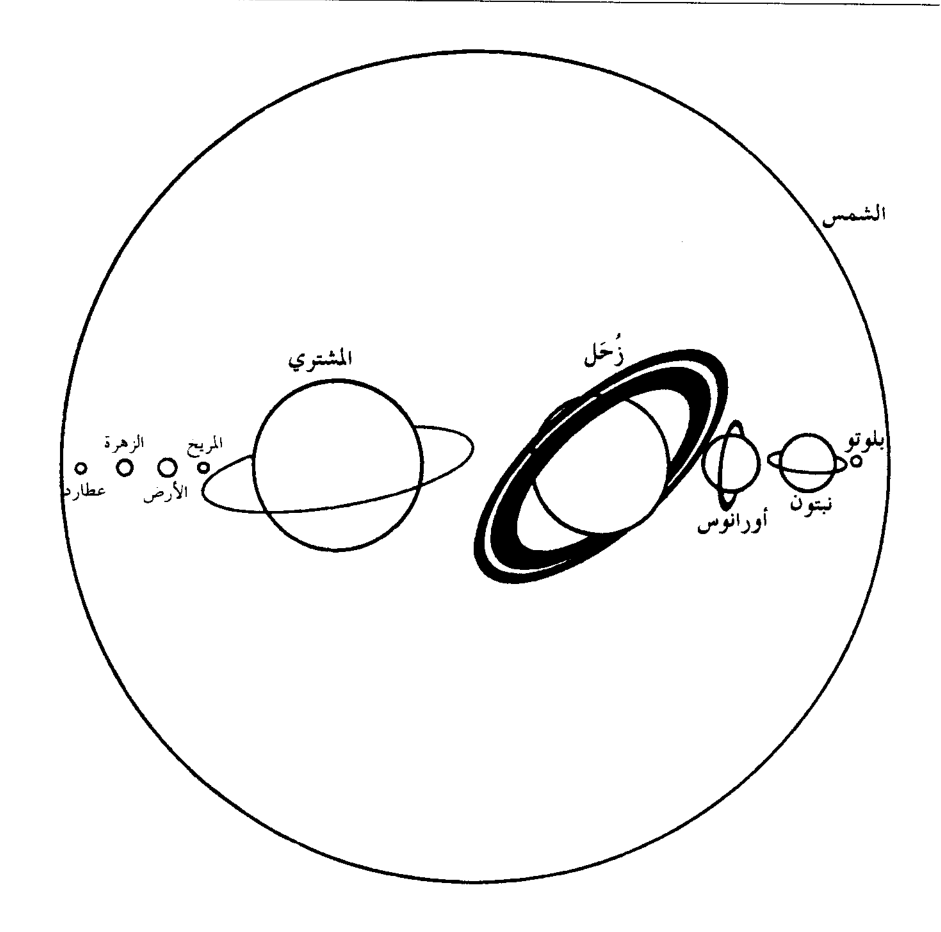
والكواكبُ planets أجرامٌ تدور حول النجوم مباشرةً، والأقمارُ moons أجرامٌ تدور حول الكواكب. والكواكب وأقمارها أخفض كتلةً وحرارةً من النجوم؛ فالنجوم تولِّد ضوءَها من ذاتها، خلافاً للكواكب والأقمار التي لا تكفي كتلتُها لإحداث تفاعلات الاندماج النووي اللازمة للاشتعال، فهي إذاً تضيء بانعكاس ضوء النجوم عليها.

تتفاوت كواكبُ منظومتنا الشمسية من حيث الكتلة؛ فأخفُّها بلوتو وأثقلها المشتري، الذي تبلغ كتلتُه 318 مرة كتلةَ الأرض. إلا أن كتلةَ الكواكبِ كلِّها مجتمعةً لا تزيد على 0,001 كتلةَ الشمس.

وتتفاوت الكواكبُ كذلك من حيث الحجم؛ فأصغرها بلوتو وأكبرها المشتري، الذي يبلغ قطره 0,1 قطرَ الشمس (الشكل 1.8).

ما الفرق الأساسي بين الكوكب والنجم؟ ....

....



الشكل 1.8 الحجوم النسبية للكواكب. (ليست وفق مقياس رسمٍ مع الشمس).

الجواب: الكوكبُ أخفضُ كتلةً وحرارة من النجم، وهو يضيء بفعل انعكاس ضوء نجمٍ عليه. (يولِّد النجمُ ضوءَه من ذاته).

2.8 منشأ الكواكب

تكوَّنت المنظومةُ الشمسيةُ ـ وفقاً لنموذج السديم الشمسي solar nebular model ـ منذ نحو خمسة مليارات سنة من سحابةٍ بَيْنجميّة شرقية دوّارة (الفقرة 3.4). تقلَّص السديمُ إلى الشمس البدائية proto-Sun التي يكتنفها قرصٌ دوّار

تكوَّنت فيه الكواكبُ من تنامي الغبار والغاز (الشكل 4.4). ثم بَدَّدَت الشمسُ الوليدةُ معظمَ الغاز والغبار المتخلِّف.

ويجد علماء الفلك في خصائص المنظومة الشمسية اليوم ما يعضد النظريةَ السديمية هذه.

تطوف revolve الكواكبُ جميعُها حول الشمس في اتجاه واحد من الغرب إلى الشرق، أي عكس اتجاه حركة عقارب الساعة كما تُرى من فوق. تسمى حركةُ الكواكب هذه الحركة الطرديَّة direct motion (الشكل 2.8). وتدور الكواكبُ كذلك حول محورها في الوقت الذي تطوف فيه حول الشمس. ووُجد أنّ دورانَها جميعاً حول محاورها (فيما عدا الزُّهَرة وأورانوس) طرديٌّ أيضاً.

يسمى المستوي الوسطي لمدار الأرض حول الشمس مستوي فلك البروج ecliptic. ويلاحَظ أن مداراتِ كلِّ الكواكب تقع في مستوٍ واحد تقريباً، وكأنها مسارب في مضمار سباق. أما مَيْل inclination كوكب بلوتو، وهو الزاوية الواقعة بين مستويه المداري وفلك البروج، فهو حالةٌ خاصَّةٌ شاذّة (الجدول 2.8).

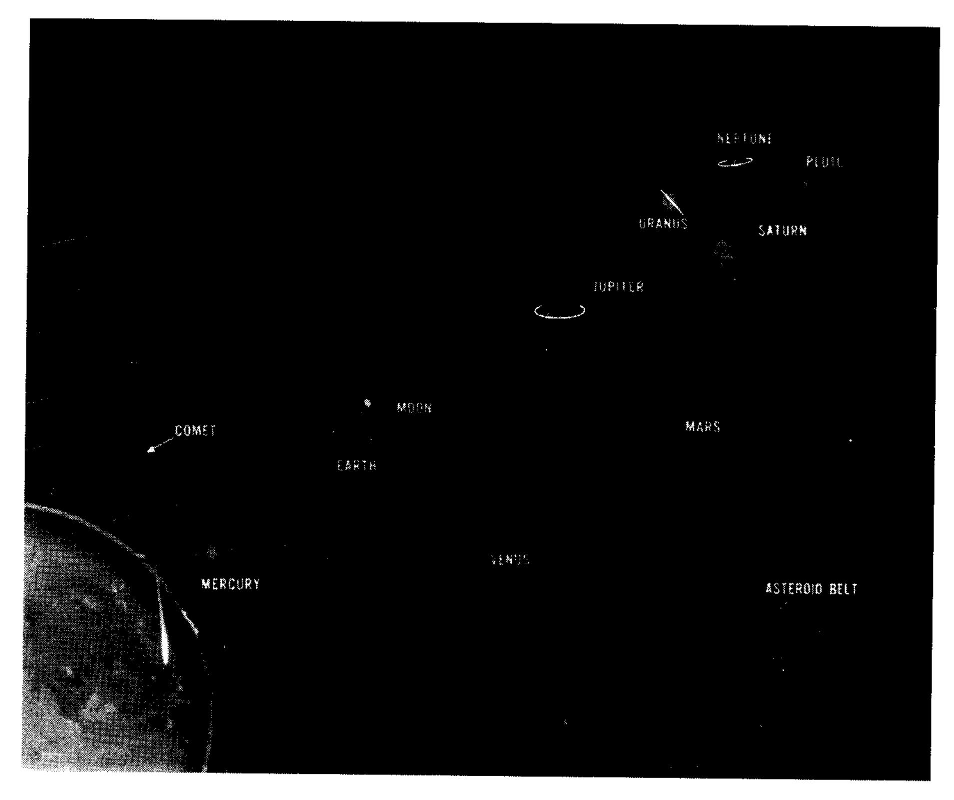
وتسمّى الكواكبُ التي تقع مداراتُها أقربَ إلى الشمس من بُعد مدار الأرض عن الشمس الكواكبَ السُّفلية inferior، في حين تسمى الكواكبُ التي تقع مداراتُها خارجَ مدار الأرض الكواكبَ العُلوية superior.

بالاستعانة بالشكل 2.8 عدِّد (أ) الكواكب السُّفلية و(ب) الكواكب العُلوية.

(أ) ....

(ب) ....

الجواب: (أ) عطارد والزُّهَرة؛ (ب) المريخ والمشتري وزُحل وأورانوس ونبتون وبلوتو.



الشكل 2.8 ترتيب مدارات الكواكب حول الشمس (بدون التقيُّد بمقياس رسم معَيَّن).

3.8 أسماء أيام الأسبوع

هناك خمسةٌ من الكواكب ـ هي عطارد والزُّهرة والمرِّيخ والمشتري وزُحَل ـ تبدو في السماء كنجوم شديدة السطوع. وقد عرفَ الأقدمون هذه الكواكبَ الخمسةَ الساطعةَ إضافةً إلى الشمس والقمر، واعتقدوا أنَّ كلاً منها يهيمن على أحد أيام الأسبوع أو يحكمه، فسُمّي باسمه (باللاتينية).

وأسماء الأسبوع التي نستعملها [بالإنكليزية] مستوحاةٌ من الأنغلو ـ سكسونيّين الذين وضعوا لها أسماء للآلهة بدلاً من أسمائها الرومانية. أما أسماء الأيام بالفرنسية والإسبانية فهي مطوَّعةٌ عن اللغة اللاتينية مباشرة.

الجدول 1.8 أيام الأسبوع

اليوم	الجِرم الحاكم	المقابل الأنغلو - سكسوني	باللاتينية	بالفرنسية	بالإسبانية
(الأحد)	الشمس	-	Dies Solis	Dimanche	Domingo
(الإثنين)	القمر	-	Dies Lunae	Lundi	Lunes
(الثلاثاء)	المرّيخ	Tiw	Dies Martis	Mardi	Martes
(الأربعاء)	عطارد	Woden	Dies Mercurii	Mercredi	Miercoles
(الخميس)	المشتري	Thor	Dies Jovis	Jeudi	Jueves
(الجمعة)	الزُّهرة	Frigg	Dies Veneris	Vendredi	Viernes
(السبت)	زُحل	Seterne	Dies Saturni	Samedi	Sabado

بالاستعانة بالجدول 1.8 اذكر: (أ) أيّ أيام الأسبوع [بالإنكليزية] أقرب إلى اسم الآلهة اللاتينية الأصلية؟ ....؛ (ب) أيّها يحمل أسماء الآلهة الأنغلو - سكسونية؟ ....

....

الجواب: (أ) Saturday؛ (ب) Tuesday، Wednesday، Thursday، Friday.

4.8 أطوار القمر

القمر هو التابعُ الطبيعيُّ الوحيد للأرض، وهو يطوف حولها في الوقت الذي يطوف كوكبُنا حول الشمس، وينوِّر في السماء من انعكاس ضياء الشمس عليه.

يتغيَّر مظهرُ القمر بانتظامٍ كلَّ شهر. وتُنيرُ الشمسُ نصفَه دوماً، لكن الشكلَ الساطعَ الذي نراه للقمرِ من الأرض (والذي يسمّى طور القمر phase) يتبدَّل في أثناء دورانه حولها. تسمى هذه الدورةُ المتواترة دوريّاً لأشكاله

الظاهرية أطوار القمر phases of the Moon[1].

تأمَّل الشكل 3.8 ولاحظْ أنَّ القمرَ الجديد new Moon مظلمٌ، وغيرُ مرئيٍّ في السماء لأن الوجهَ المظلم للقمر يكون مقابلاً للأرض. ثم ما يلبث بعد بضعة أيام أن يعقبه الهلالُ المتنامي waxing crescent، الذي كثيراً ما يُرى قرصُه مُناراً إنارةً خافتةً بضوء الشمس منعكساً من الأرض، في ظاهرةٍ تسمى الوهج الأرضي earthshine.

بانقضاء نحو سبعة أيام على قمر جديد يكون قد قطَعَ رُبُعَ دورته حول الأرض، فيبزغ وقتَ الظهيرة، ونتمكن من رصد ما يسمى نور الرُّبع الأول first quarter[2]. يلي ذلك مرحلة القمر المحدودب المتنامي waxing gibbous، حيث يكون أكثر من نصف قرصه المنير مرئياً من الأرض.

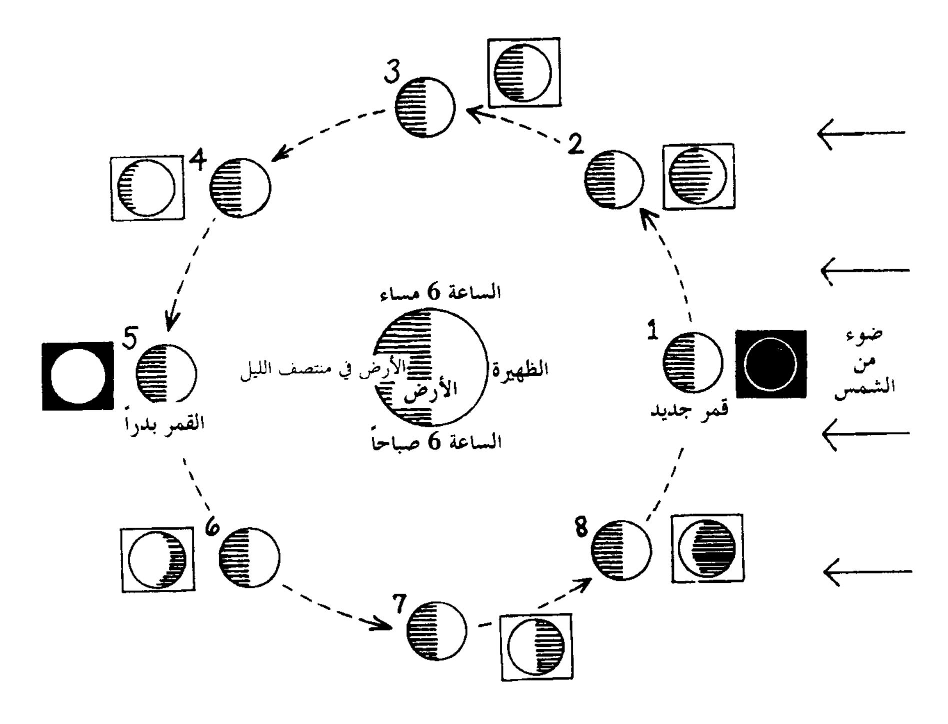
وبمرور نحو أسبوعين من دورته يصير القمرُ بدراً full Moon ينير السماء طوال الليل بتمام قرصه الوضّاء. يُذكر أن القمرَ البدرَ يحدث 12,37 مرة في كلِّ سنة[3]. ومن ثم فإن حدوث بَدْرَيْن في شهرٍ واحد يمكن أن يصادف مرةً كلَّ 2,72 سنتين في المتوسط. يسمى القمرُ البدرُ الثاني في شهرٍ معيَّن القمرَ الأزرق[4] blue Moon. ومما يحدث مرةً كلَّ 19 سنة تقريباً أنْ يَقَعَ في السنة شهران بقمرَيْن بَدْرَيْن، ذلك لأن شهر شباط (فبراير) لا يحدث فيه قمرٌ بدر.

(1) وفي التنْزيل العزيز: (والقمرَ قَدَّرْناهُ مَنازِلَ حتى عادَ كالعُرْجونِ القديم([يس 39]. (المعرِّب)

(2) الربع الأول: وجهٌ من أوجه القمر عندما يكون قريباً من تربيعه الشرقي، أي حين يكون نصفُه الغربي مرئياً للناظر إليه من الأرض. (المعرِّب)

(3) أي في كل سنة شمسية، لأن السنة الشمسية تزيد 11 يوماً تقريباً على السنة القمرية. (المعرِّب)

(4) إن العبارة الإنكليزية «once in a blue moon» تفيد أمراً نادر الوقوع، أو «مرةً كلَّ حين». وهي - بترجمتها الحرفية: «مرةً عند كلِّ قمرٍ أزرق» - لها أساسٌ من الواقع؛ فقد يبدو القمر أزرق اللون في حالاتٍ نادرة، بسبب وجود جسيماتٍ في الغلاف الجوّي الأرضي. (المعرِّب)



الشكل 3.8 أطوار القمر ـ كما تُرى من الأرض ـ مرسومةٌ ضمن مربّعات. تضيء الشمسُ نصفَ القمر دوماً، كما يظهر في الدائرة الداخلية. يُحسَب مطال القمر باتجاه الشرق من السماء، مع العلم بأن المطالات: 0° و 90° و 180° و 270° تقابل أطوار قمر جديد. وتربيعِه الأول، والقمرِ البدر، وتربيعِه الأخير، على الترتيب.

ينمحق الجزءُ المرئيُّ من قرص القمر الساطع، أي يبدأ بالتناقص wane، بعد أن يستكمل القمرُ رحلتَه حول الأرض في غضون الأسبوعين الأخيرين من دورته.

إن متوسط الزمن الذي يتطلَّبه القمرُ ليكرِّر أطوارَه المذكورة آنفاً يبلغ 29,5 يوماً، ويسمّى الشهرَ الاقتراني synodic month أو lunation. وفي هذا السياق، فإن عُمر القمر يُقاس اعتباراً من غرَّته [إلى غرّته التالية].

حدِّدِ الأطوارَ المقابلةَ لمواقع القمر المشار إليها في مداره حول الأرض، كما هي معلّمةٌ في الشكل 3.8: (أ) هلالٌ متنامٍ ....؛

(ب) التربيع الأول .... ؛ (ج) محدودبٌ متنام .... ؛ (د) محدودبٌ متناقص (منمحق) .... ؛ (هـ) التربيع الثالث .... ؛ (و) هلالٌ منمحق ....

ارقُبِ القمرَ يومياً مدةَ شهرٍ إن استطعت. دوِّن أرصادك في ما يتصل بمظهره الساطع، وموقعِه بالنسبة إلى الشمس، ووقت بزوغه وأُفوله. استفِدْ من المعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير التغيُّرات التي تلاحظها.

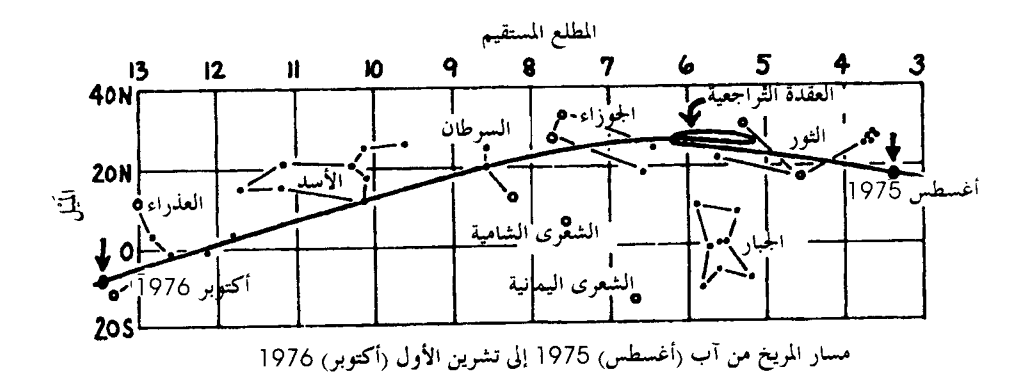
5.8 رصد الكواكب

يتعذَّر تحديد مواقع الكواكب على الخرائط النجميّة، لأن النجوم تحافظ على مواقعها النسبية في السماء عشرات السنين، وأما الكواكبُ فلا. وكلمة planet (كوكب) مشتقةٌ من كلمة يونانية تعني «الطوّاف» أو «الجوّال». وتتحرَّك الكواكبُ عبر الكرة السماوية قريباً من فلك البروج.

يَظهر كوكبا الزُّهرة وعطارد وهما يتحرَّكان في سماء الأرض إلى الأمام وإلى الخلف على جانبَي الشمس. ويبلغ المطال elongation الأعظمي (وهو بُعد الكوكب شرق الشمس أو غربها) للزُّهرة 48° ولعطارد 28°.

وتطوف الكواكبُ: المرِّيخ والمشتري وزُحَل نحو الشرق عموماً في ما بين كوكبات دائرة البروج. وتبدو الكواكب في بعض الأحيان وقد عَكَسَتِ اتجاه حركتها نحو الغرب بما يُطلَق عليه اسم الحركة التراجعية retrograde motion، إلى حينٍ قبل أن تستأنف حركتها الطردية. تسمى هذه الحركةُ الخلفيةُ الظاهرية، ثم استئناف الحركةِ الأماميةِ من جديد العقدةَ التراجعية retrograde loop (الشكل 4.8).

وبإمكانك معرفة المواقع الدقيقة للكواكب في ليلةٍ ما عن طريق المنشورات الفلكية وبرمجيات الكمبيوتر والتقاويم (انظر «مصادر مفيدة» في نهاية الكتاب).



الشكل 4.8 رصد مواقع متعاقبة لكوكب المرّيخ في ما بين كوكبات دائرة البروج، في أثناء رحلات مركبة الفضاء الأمريكية ڤايكينغ التاريخية إلى الكوكب الأحمر.

اقترِحْ طريقةً للبحث عن كوكبٍ معيَّن كالمشتري في السماء الليلةَ ....

....

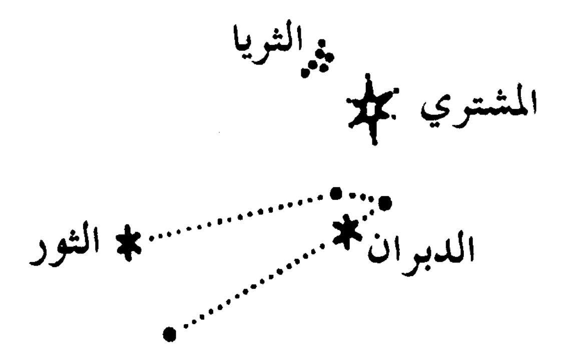
....

....

....

....

الجواب: بالاستعانة بالمنشورات الفلكية أو برمجيات الكمبيوتر أو أحد التقاويم العلمية، حدِّدْ أولاً الكوكبةَ التي يقع فيها كوكبُ المشتري اليومَ من دائرة البروج. ثم عيِّنْ موقعَ الكوكبة على خرائطك النجميّة. افترضْ - على سبيل المثال - أنك وجدتَ المشتري في كوكبة الثور. فإذا وُجدت هذه الكوكبةُ في السماء الليلةَ استطعتَ رصد المشتري بسهولة، وكان هو «النجم» الساطع الذي لا ينتمي إلى الكوكبة (الشكل 5.8).



الشكل 5.8 كوكب المشتري في كوكبة الثور.

✪ دوِّن موقعَ كلٍّ من كوكَبَي الزُّهَرة والمرِّيخ على مدى عدة شهور. حاولْ رصدهما في السماء إن استطعت. استعِنْ بالمعلومات الواردة في هذا الفصل لتفسير الحركات التي ترصد.

6.8 نبذة تاريخية

أدى البحثُ عن تفسيرٍ بسيط للحركات المرصودة للكواكب في السماء إلى إحداث تغييرٍ في نظرة الإنسانية إلى هذا العالَم.

وصفَ عالِمُ الفلك الإسكندريُّ بطليموس Ptolemy في كتابه «الْمِجَسْطِي» Almagest ـ الذي قد يرقى إلى السنة 150 بعد الميلاد ـ النموذجَ الأرضيَّ المَرْكزِ geocentric model للكون[1]. وقد شَجَّعَ اعتقادُهم آنذاك أن الدائرةَ شكلٌ «تام» يمثِّل الكمال، على افتراض أن الشمسَ والقمرَ والكواكبَ تتحرك على دوائرَ صغيرةٍ أطلقوا على كلّ واحدة منها اسم الدُّحروج epicycle، تدور مراكزُها حول الأرض على دوائر أكبر منها سَمَّوها دوائرَ بطليموس deferents.

(1) أي الذي عُدَّت فيه الأرضُ مركزَ الكون. (المعرِّب)

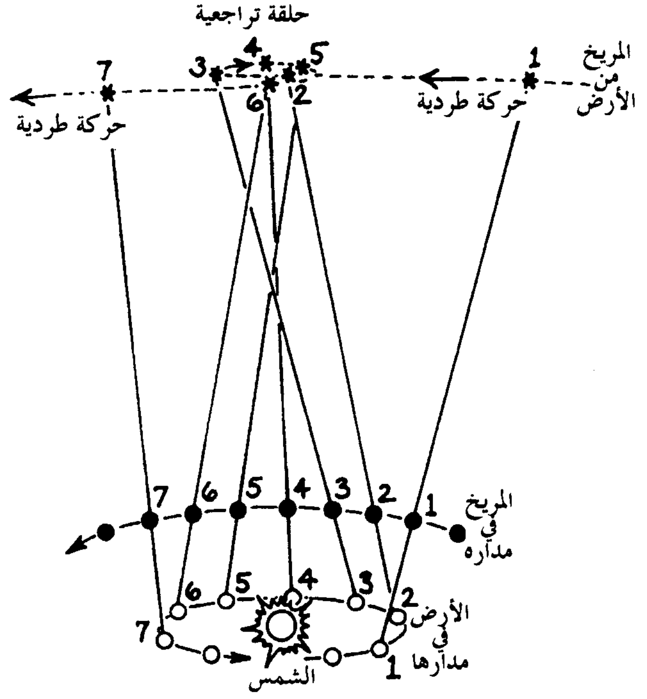
ولِمَا يربو على أربعةَ عشر قرناً من الزمن لقيَ هذا النظامُ البطليموسيُّ Ptolemaic system قبولاً عاماً بصفته أساسَ العمل الفلكي. ولا شكَّ في أنه استطاع أن يَصِفَ، بدرجة عالية من الدقّة، المواقعَ المرصودةَ للأجرام السماوية المعروفة في ذلك الوقت وحركاتِها، وأن يجسِّد النظرةَ التي كانت سائدةً بين الناس عن الكون بحكم رصدهم للسماء. وبتعديلات طفيفة فقط، غَدَتْ هذه النظريةُ الأرضيةُ المَرْكزِ جزءاً لا يتجزَّأ من المبدأ الأساسي للكنيسة الرومانية الكاثوليكية في القرون الوسطى.

ثم نَشَرَ عالِمُ الفلك البولوني نيكولاس كوپرنيكوس Nicolaus Coprnicus (1473-1543) نموذَجه الانقلابيّ الشمسيَّ المَرْكزِ heliocentric model سنة وفاته. في النظام الكوبرنيكيّ Copernican system تدور الكواكبُ ـ والأرضُ أحدها ـ حول مركزٍ ثابت هو الشمس. ووفقاً لهذا النموذج تنشأ حركاتُ التطواف الظاهريةُ للكواكب عن اجتماع الحركاتِ المدارية الحقيقية للأرض والكواكب المرصودة في آنٍ واحد.

تفسَّر الحركةُ الظاهريةُ لكوكب المرّيخ (الشكل 6.8) كما يأتي: في الواقع لا يتحرك المريخ حركةً تراجعيةً في مداره أبداً، بل إنّ الكواكبَ كلَّها تتحرَّك إلى الأمام. وما العقدةُ التراجعيَّةُ في السماء إلا نتيجة للحركة النسبيّة للأرض والمريخ؛ فالأرض ـ التي هي أكبر سرعةً ـ عندما تدرك المريخَ وتتجاوزه، يبدو هذا الأخير وكأنه يطوف بحركة تراجعيَّة. ألا ترى أن ذلك يشبه مراقبتك سيّارةً تتحرك ببطءٍ على الطريق عندما تتجاوزها بسيارة أسرع منها؟

ما هو التغيير الذي كان الناسُ بحاجةٍ إليه، في نظرتهم الفلسفية إلى الأرض، لكي يقبلوا بنظرية كوپرنيكوس بديلاً عن نظرية بطليموس؟ ....

....



الشكل 6.8 الحركة الظاهرية لكوكب المرّيخ كما وَصَفَها النموذجُ الشمسيُ المركز. تدلُّ الأرقام على مواقع الكوكب عند أبعادٍ زمنيةٍ مقدارها شهر واحد. (1 ـ 3): يظهر المريخ وقد تباطأت حركته الطرديَّة عندما تدركه الأرض. (4): يبدو المريخ في حركةٍ تراجعية عند تجاوُز الأرض له. (5 ـ 7): يستأنف المريخُ حركتَه الطرديَّةَ عندما تتقدَّمه الأرض.

الجواب: أن الأرض عادت لا تُعَدُّ مركزَ الكون بكامله، ولا هي الأعلى أهمية.

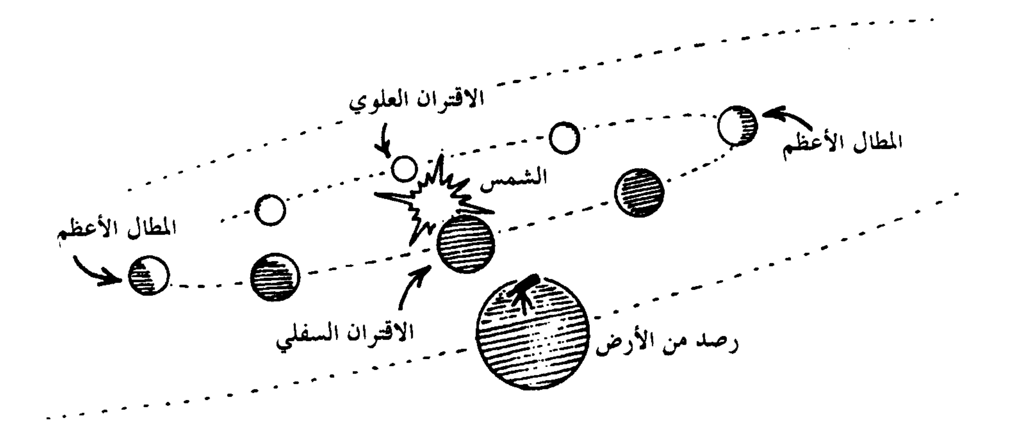
7.8 بواكير المعطيات المقرابية

كان العالِمُ الإيطالي غاليليو غاليليه Galileo Galilei (1564 ـ 1642) أولَ من استعمل المقراب لأغراض رصد السماء. وقد وفَّرت أرصادُه معطياتٍ مهمة حقاً لنظرية كوپرنيكوس.

رصدَ غاليليو مشهدَ جبال القمر ونجوده وفوّهاته والمساحات الشاسعة الدكناء عليه، إضافةً إلى البقع الشمسية وحركاتها، فاقتنعَ بأن السماء متغيرة لا تثبت على حالٍ واحدة. كذلك فإن اكتشافه لأربعة أقمارٍ كبيرة تطوف حول المشتري أكَّد اعتقاده بأن الأرض ليست هي مركزَ كلِّ الحركات السماوية.

لاحظَ غاليليو أن كوكب الزُّهَرة الساطع يتغيَّر مظهرُه وحجمه بانتظام، ولم يتمكن النظام البطليموسي من تعليل أطوار الزُّهرة، إلا أن نظام كوپرنيكوس أعطى له تفسيراً بسيطاً.

يبدي كلٌّ من الكوكبَيْن السفليَّين: الزُّهَرة وعطارد أطواراً عندما يعكسان ضوءَ الشمس على الأرض من مواقع مختلفة من مدارَيْهما حول الشمس (الشكل 7.8). يلاحَظ أن الكوكبَ السفلي يبدو أكملَ ما يكون إضاءةً وهو



الشكل 7.8 أطوار كوكب الزُّهرة كما تُرصَد بمقرابٍ من الأرض.

في طَوْر احديدابه، قرب وضع الاقتران العُلوي superior conjunction، وهي النقطة الواقعة على الجانب البعيد من الشمس عندما تُرى من الأرض؛ في حين يبدو هلالاً وأكبر ما يكون حجماً قرب وضع الاقتران السفلي inferior

conjunction، وهي النقطة الواقعة بين الأرض والشمس.

في سنة 1616 حَظَرتِ الكنيسةُ الرومانية الكاثوليكيةُ الكتبَ المنادية بمبادئ كوپرنيكوس [التي عدّتها ضرباً من الهرطقة]. وسُمِح لغاليليو بمتابعة بحوثه شريطة ألاّ يحمل مبادئ الهرطقة، أو يعلِّمها، أو يدافع عنها. ومع ذلك أيّد غاليليو نظامَ كوپرنيكوس في دراسةٍ له بعنوان: «محاورة حول نظامَي الكون الرئيسيَّين» نُشِرت سنة 1632.

وفي السنة التالية ـ وقد أمسى غاليليو شيخاً ناهز السبعين بعد حياة حافلة ـ أكرهتْه محاكمُ التفتيش Inquisition على النكوص عن آرائه الفلكية، ولزومِ منْزله بقيةَ حياته. وطوال 350 سنة ظلَّ الجدل محتدماً بين العلماء واللاهوتيين والمؤرّخين حول توافق الدين والعلم، إلى أن تحرَّكت الكنيسةُ تدريجياً لتصحيح قرارها الجائر بحقّ غاليليو، فبرَّأته منذ عهد قريب جداً (سنة 1992).

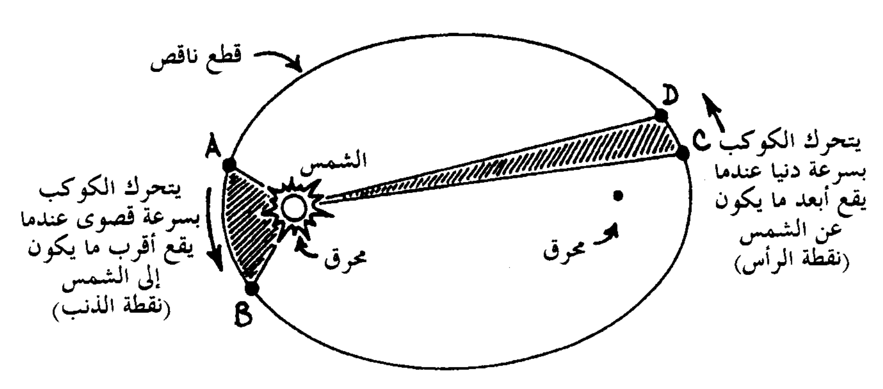
8.8 قوانين الحركة الكوكبيّة

استنبط عالِم الفلك الألمانيُّ يوهان كپلر Johannes Kepler (1571 ـ 1630) وصفاً بسيطاً ودقيقاً للحركة الكوكبية. وكان يعمل مستمداً من مدوَّناتٍ موروثةٍ عن العالِم الفلكي الدانمركي تيخو براهه Tycho Brahe (1546 ـ 1601) الذي كان قد أثبتَ مواقعَ النجوم والكواكب بدقة لم يُسبق إلى مثلها منذ 20 سنة. ومن الطريف أن بقايا مرصد براهه ونتاجَه معروضةٌ في جزيرة ڤِن Ven السويدية اليوم للزائرين المهتمين.

أسهمتْ قوانين كِپْلر Kepler's laws الثلاثة إسهاماً كبيراً في رفع درجة دقة التنبُّؤات المتعلقة بمواقع الكواكب. وتنصّ هذه القوانين على:

1. أنّ كلَّ كوكبٍ يطوف حول الشمس في مدارٍ على شكل قطعٍ ناقصٍ تقع الشمسُ في أحد محرقيه.

2. أنّ الكوكب يتحرك بحيث «يمسح» الخطُّ الواصل بين الشمس والكوكب قطاعات متساوية المساحة خلال أزمنة متساوية. فكما هو واضح من الشكل 8.8، ينتقل الكوكب من A إلى B ومن C إلى D في الزمن نفسه. وبتعبير آخر، تكون حركةُ الكواكب في سرعتها القصوى عندما تقع أقرب إلى الشمس (نقطة الرأس perihelion)، وفي سرعتها الدنيا عندما تقع أبعد ما تكون عنها (نقطة الذَّنَب aphelion)[1].



الشكل 8.8 الحركة الكوكبية.

3. أنّ الزمنَ الذي يقتضيه كوكبٌ للدوران حول الشمس يتعلق بكِبَر هذا المدار، بحيث يتناسب مربَّعا الزمنَيْن اللازمَيْن لأيّ كوكبَيْن لإتمام دورةٍ لهما حول الشمس مع مكعَّبَيْ متوسط بُعدَيهما عنها.

يمكن استعمال قانون كِپْلر الثالث هذا لإيجاد متوسط بُعد كوكب (d) عن الشمس، مقارنةً بمتوسط بُعد الأرض (1 واحدة فلكية) عنها (راجع

(1) وهذا منطقيٌّ وفق القانون الثاني لكپلر، ويمكن ملاحظتُه بالنظر إلى المساحات المظلَّلة في الشكل 8.8. فلكي تتساوى هذه المساحات يتعيَّن أن تكبر المسافة المقطوعة على المدار خلال زمنٍ معيَّن أكثر فأكثر كلما اقترب الكوكب من الشمس على مداره. إذن، ووفق هذا القانون، تتغيَّر سرعة الكوكب في أثناء دورانه على مداره الإهليلجي، فتتزايد باقترابه من الشمس وتتناقص بابتعاده عنها. (المعرِّب)

الفقرة 2.4). يُحسَب الدَّورُ المداريُّ (p) لكوكب بالسنوات عن طريق الأرصاد. ويعبَّر عن قانون كپلر الثالث رياضياً بالعلاقة: $d^3 = p^2$.

على سبيل المثال، يبلغ الدَّور المداري لكوكب المشتري 11,86 سنة، ومن ثم يُحسب متوسط بُعد المشتري (d) عن الشمس من: $d^3 = (11.8)^2 \cong 141$. أي أن: $d = \sqrt[3]{141}$ (من الواحدات الفلكية).

كم يكون بُعد كوكبٍ عن الشمس إذا تبيَّن بالرَّصد أنَّ دَوْرَه المداري 8 سنوات؟ أوضح إجابتك ....

....

الجواب: 4 واحدات فلكية، أو 4 أضعاف متوسط بُعد الأرض. بتطبيق القانون الثالث لكپلر:

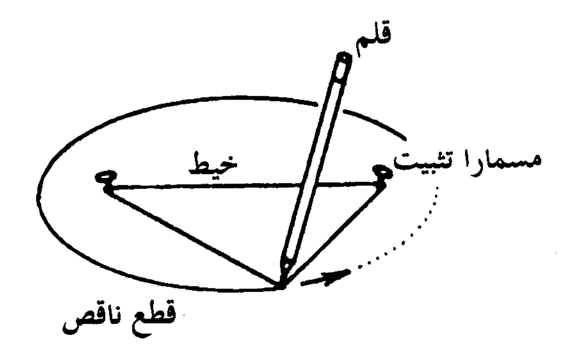
$$p^2 = d^3$$

$$d^3 = (8)^2 = 64$$

$$d = \sqrt[3]{64} = 4$$

ملاحظة: القَطْع الناقص ellipse (الإهليلج) منحنٍ مغلقٌ يتحقَّق فيه أن مجموع بُعْدَي أيِّ نقطة عليه عن نقطتين ثابتتين - هما المحرقان أو البؤرتان foci- يساوي ثابتاً مفروضاً. ومطال المدار الإهليلجي eccentricity يعبِّر عن مقدار انحراف القطع الناقص عن أن يكون دائرة تامة، ويُحسب بقسمة طول المسافة بين المحرقين على طول المحور الكبير. علماً بأن نصف المحور الكبير semi-major axis هو الذي يحدِّد مقاس القطع الناقص.

ارسم قطعاً ناقصاً بتثبيت مسمارين صغيرين (هما المحرقان) على لوحة. اربط خيطاً حولهما، واستعملْ قلماً ترسم به على أن يبقى مشدوداً إلى الخيط المنبسط إلى مداه (الشكل 9.8).



الشكل 9.8 طريقة رسم قطعٍ ناقص.

9.8 الحركة والثقالة

رأينا أن قوانين كپلر تفسِّر كيف تُرصَد الكواكب وهي تتحرك. أما الفيزيائيُّ والرياضيُّ الفذّ السير إسحاق نيوتن (1642 ـ 1727) فقد صاغ قوانين لتفسير تحرُّك الكواكب على الصورة التي تتحرك بها، فنَشَر كتابه: المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية The Mathematical Principles of Natural Philosophy عام 1687.

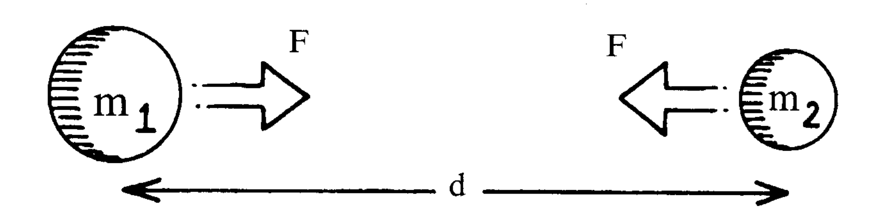
تنصّ قوانين نيوتن في الحركة Newton's laws of motion على ما يلي:

1. يبقى جسمٌ ما على حالته من السكون أو الحركة المنتظمة ما لم تعمل فيه قوىً تُغيِّر من حالته تلك.
2. إن القوة النهائية F المطبَّقة على جسم تساوي كتلة ذلك الجسم m مضروبةً بتسارعه a. ونكتب: $F = ma$
3. إذا تآثر جسمان أحدثا قوَّتَيْن متساويتَيْن ومتعاكستَيْن أحدهما على الآخر.

أما قانون نيوتن في الثقالة law of gravity فنصُّه:

يتجاذب جسمان كتلتاهما m1 و m2 ويفصلهما البُعد d بقوة F تسمى قوة الثقالة، التي تتناسب طرداً مع جداء الكتلتين وعكساً مع مربَّع البُعد

بينهما (الشكل 10.8). ويكتب هذا القانون رياضياً: $F = Gm1m2/d2$ حيث G هو ثابت تثاقلي (الملحق 2).



الشكل 10.8 قانون نيوتن في الثقالة.

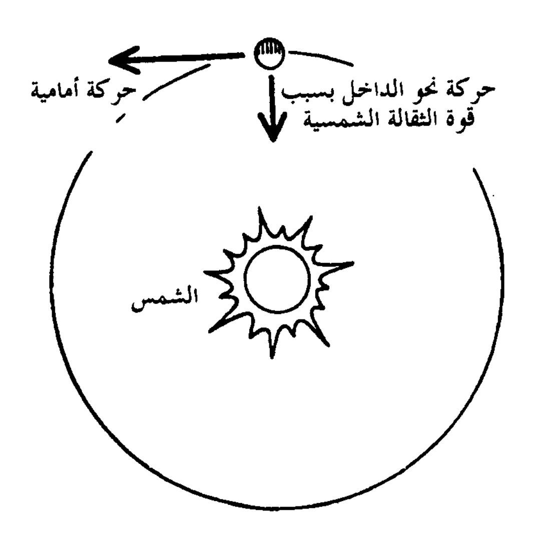
ومن الضروري وجودُ قوة جذبٍ للإبقاء على الكواكب دوّارةً في مساراتها المنحنية حول الشمس، إذ بدونها تطوح الكواكبُ هائمةً في لُجّ الفضاء. هذه القوةُ توفِّرها ثقالةُ الشمس التي تعمل باستمرارٍ على جذب الكواكب نحو الشمس(1).

إن اجتماع حركة الكواكب نحو الأمام وحركتها الانجذابية نحو الشمس بتأثير قوة الثقالة من شأنه أن يبقي الكوكب في مساره حول الشمس (الشكل 11.8).

وقد أدرك نيوتن بعبقريته أن قانونه في الثقالة يصحّ على الأجسام الساقطة على الأرض، وعلى حركة القمر والكواكب، وكذلك على الأجسام الماديّة كافة. فحكَمَ أن قانون الثقالة وقوانين الحركة الثلاثة هي قوانين أساسيةٌ في الفيزياء. ووُجد فعلاً أنَّ قوانينَه عامةٌ شاملة universal تنطبق على الأجسام كلِّها في أيِّ مكان من الكون.

عمَّم نيوتن قوانين كپلر في الحركة الكوكبية، وردَّها رياضيّاً إلى مبادئ

(1) إن هذه الهيمنة التثاقلية التي تفرضها الشمسُ على الكواكب تسوِّغ تسميتنا للعائلة الشمسية بالمنظومة الشمسية. (المعرِّب)



الشكل 11.8 شكلا الحركة اللذان يبقيان الكوكب طوّافاً في مداره حول الشمس.

أساسية، واستعمل في عمله فرعاً جديداً من الرياضيات ابتدعه، هو ما نسميه اليوم حساب التفاضل والتكامل.

طبِّق قوانين نيوتن لتفسير بقاء الأقمار في مداراتها حول كواكبها ....

....

....

....

الجواب: إن تركيب حركتَيْن على القمر يبقيانه في مداره حول كوكبه: حركته نحو الأمام وحركته نحو الداخل الناجمة عن جذب ثقالة الكوكب.

10.8 حركة القمر المدارية

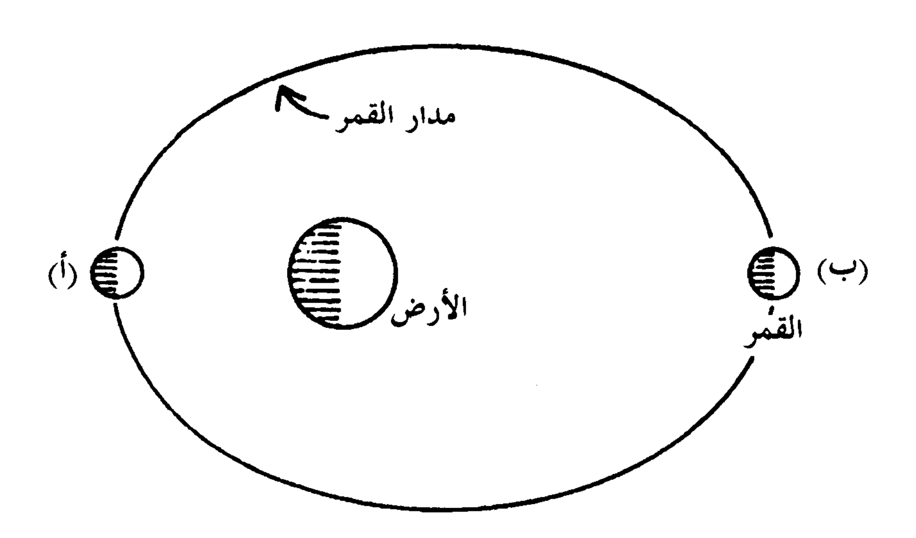
إن مدار القمر قطعٌ ناقصٌ تقع الأرضُ في أحد محرقيه، وهو يدور حولها بسرعة وسطى قدرها 1,02 كم/ ثا (2295 ميل/ ساعة).

يُتِمُّ القمرُ دورةً واحدةً حول الأرض بالنسبة إلى النجوم في زمنٍ يقارب 27,3 يوماً، وتسمى هذه المدةُ شهراً نجميّاً (أو فلكياً) sidereal month.

يبلغ متوسط القُطر الزاوي للقمر في السماء نحواً من $\frac{1}{2}°$ ($31' \, 5''$ من القوس). ويبدو القمر أكبر من معدَّل حجمه عند نقطة الحضيض perigee، وهي أقرب نقطة إلى الأرض في مداره، وأصغر من معدَّل حجمه عند نقطة الأوج apogee، وهي أبعد نقطة عن الأرض في مداره.

عيِّن نقطتَيْ الأوج والحضيض في الشكل 12.8، واذكر أين يبدو القمرُ أكبر من معدَّل حجمه، وأين يبدو أصغر؟ (أ) ....؛ (ب) ....

الجواب: (أ) نقطة الحضيض. يبدو القمر أكبر؛ (ب) نقطة الأوج. يبدو القمر أصغر.



الشكل 12.8 مدار القمر حول الأرض.

11.8 الرَّصَف

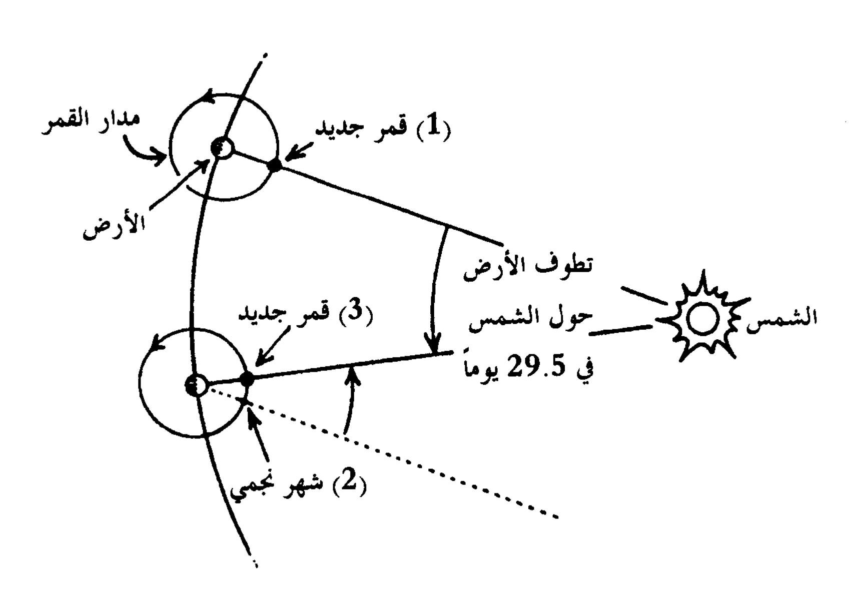
إذا كنتَ هاوياً لألعاب المفردات اللغوية أو لأحاجيِّ الكلمات المتقاطعة، فإن كلمة الرَّصَف syzygy كلمةٌ مناسبة؛ وهي تعني وقوع ثلاثة أجرامٍ سماوية، كالشمس والقمر والأرض، على استقامةٍ واحدة.

بالاستعانة بالشكل 13.8 علِّل لماذا كان الشهرُ الاقترانيُّ - أو شهر أطوار القمر - أطولَ من الشهر النجميِّ (الفلكي) بيومين ....

....

....

....



الشكل 13.8 إن المدة بين قمرَين جديدين هي أطول بيومين من الشهر النجميّ.

الجواب: ابدأ بقمر جديد (1). بعد 27,3 يوماً يكون القمر قد أتمَّ دورةً حول الأرض (2). لكن الأرضَ والقمر قد طافا في ذلك الوقت أيضاً حول

الشمس معاً. فلا بدَّ من انقضاء يومين آخرين قبل أن ينتظم القمرُ والأرضُ والشمسُ على خطٍّ واحد، ويعود القمرُ جديداً ثانية (3).

12.8 الرحلات الفضائية

تنصاع المركَبات الفضائيةُ لقوانين الفيزياء الأساسية التي تخضع لها الأجرامُ الفلكيةُ الطبيعية.

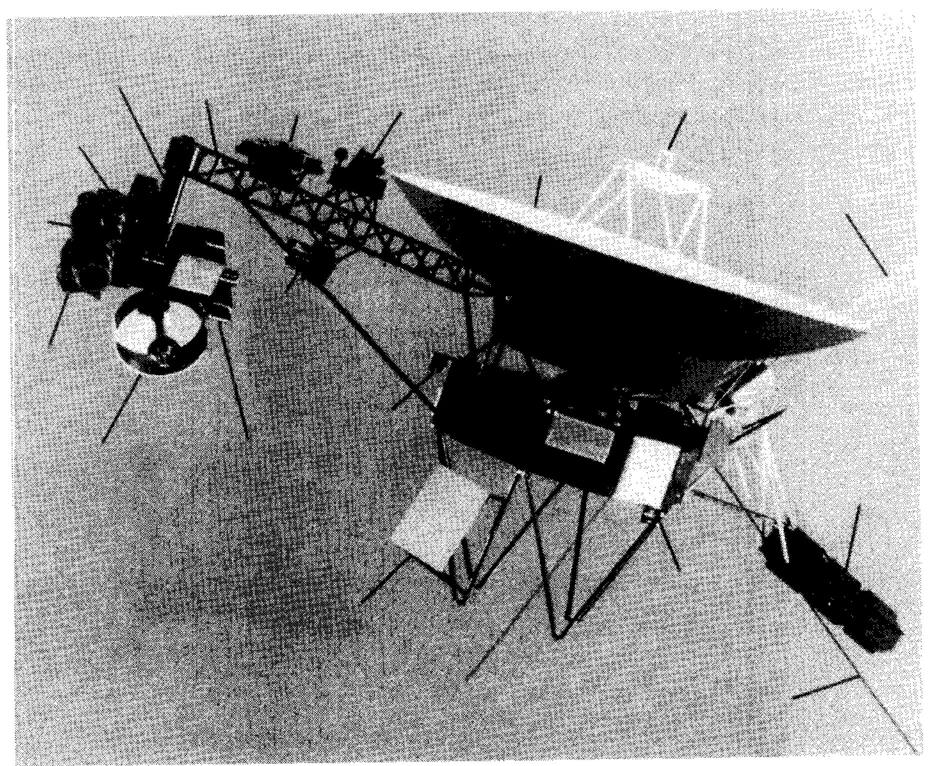
يسمى كلُّ جسم يدور في فلكٍ حولَ جِرم آخر أكبر منه الساتل satellite. فالصواريخ تُطلِق أقماراً صُنعيةً في مدارات حول الأرض بسرعة أمامية forward velocity لا تقلُّ عن 8 كم/ثا (17،300 ميل/سا)، تعمل حصيلةُ حركتِها الأمامية وحركتِها الانجذابية نحو الأرض بتأثير قوة الثقالة الأرضية على إبقاء هذه السواتل طوّافة في مداراتها. وعلى حين تُصَمَّم معظمُ السواتل لتحترق بفعل الاحتكاك إذا هي دخلت راجعةً إلى الغلاف الجويّ الأرضي، تُصنَع المركباتُ المأهولةُ وتجهيزاتها بحيث تبقى سليمةً بعد دخولها عائدةً إلى جوِّ الأرض، وتهبط بسلام.

كان أولَ قمرٍ صُنعيٍّ أُطلِقَ إلى الفضاء الخارجي الساتلُ الروسي المسمى سبوتنيك Sputnik 1، وهو كرةٌ معدنيةٌ تزن 82 كيلوغراماً (180 رطلاً إنكليزياً) مزوَّدةٌ بجهاز إرسال وبطاريات، أُطلق إلى الفضاء بتاريخ 4 تشرين الأول (أكتوبر) سنة 1957 إيذاناً باستهلال عصر الفضاء. واليومَ تعمل مئاتٌ من السواتل الربوطية الخاصة بالاتصالات والأحوال الجويّة والبحوث العلمية والملاحة والأغراض العسكرية، تطلقها دولٌ كثيرة، في مدارات لها حول الأرض.

تُرسَل المركباتُ الفضائيةُ الربوطيَّة في مهمّات لاستكشاف الكواكب، وهي تُطلَق بسرعة أمامية إلى مدارات لها حول الشمس. وتُحسَب حركاتُها علمياً بتطبيق قوانين نيوتن، تماماً كما تُحسَب الحركاتُ الكوكبية نفسُها.

تمكَّنت المركباتُ الفضائية الرَّبوطية من رصد الكواكب كلِّها عن كثب، في ما عدا پلوتو. وتُزَوَّد هذه المركباتُ بمصوِّرات، ومجسّاتِ معطيات، وأجهزةِ كمبيوتر مبرمجةٍ لتعمل آلياً، بعيداً عن أيِّ تدخُّلٍ إنسانيٍّ مباشر. على أنّ أيّاً منها لم تَعُدْ حتى اليوم، وهي تعود إلى الأرض بصُوَرٍ ومعطيات تبثُّها لأغراض التحليل العلمي.

على أن أكثر رحلات الفضاء طموحاً، التي استغرقت عدة كواكب، كانت مشروعَ ڤوياجر الأمريكي U.S. Project Voyager؛ فقد أُطلقت المركبتان التوءَمان: ڤوياجر 1 وڤوياجر 2 (الشكل 14.8) سنة 1977، انتهازاً لفرصة

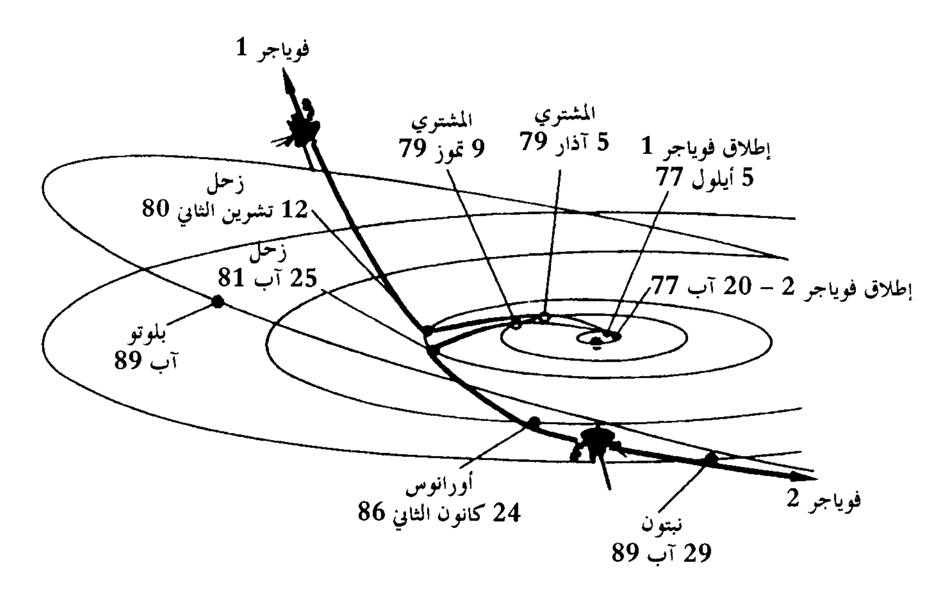


الشكل 14.8 مركبة الفضاء ڤوياجر التي تزن 800 كغ (نحو طن واحد). وتضمّ 11 مجموعةً من مجسّات الأجرام المستهدَفة، ومجسّات الجُسَيْمات والحقول والأمواج. تقوم مولِّداتُ الطاقة النووية ـ الكهربائية بتغذية أجهزة المركبة ومعدّاتها اللاسلكية والكومبيوترية.

حدوث تسامُتٍ كوكبيٍّ لا يحدث إلا كل 176 سنة. شملت المهمةُ الفضائية - التي دامت 12 سنة - حوادث مقابلة مع المشتري وزُحَل وأورانوس ونپتون، ومنظوماتها الحلقيَّة الفريدة، إضافةً إلى 48 قمراً من أقمارها.

ولهذه الغاية رُسِمَ مسارُ المركبة بدقة عالية، واستُعملت تقنيةُ مساعدة الثقالة gravity assist، التي تقوم على الاستفادة من الحقل التثاقلي gravitational field للكوكب في تغيير سرعة المركبة الفضائية دون استنفاد وقودها، استُعملت في كلِّ مقابلة لزيادة سرعة المركبة ڤوياجر، وحَنْي مسار تحليقها بدرجة تكفي لنقلها إلى الوجهة التالية.

وقد أفاءت مركبتا ڤوياجر 1 و 2 كلتاهما صُوَراً ومعطيات نفيسةً بلغت في مجموعها 118،000، وأحدثت انقلاباً حقيقياً في علم الفلك الكوكبي. بل إن ڤوياجر 1 تغادر المنظومةَ الشمسيةَ حالياً لترقى فوق مستوي دائرة



الشكل 15.8 الجدول الزمني لمشروع ڤوياجر. أُطلقت ڤوياجر 2 أولاً، وبعد 16 يوماً أُطلقت ڤوياجر 1 على مسارٍ أسرع وأقصر. تواريخ المقابلات الفلكية هي نقاط تقاطع مسارَي المركبتين ومسارات الكواكب.

البروج بزاوية تقارب 35°، وبسرعة تناهز 520 مليون كيلومتر (320 مليون ميل) في السنة؛ في حين تنطلق ڤوياجر 2 تحت مستوي دائرة البروج بزاوية تقارب 48° وبسرعة نحو 470 مليون كيلومتر (290 مليون ميل) في السنة.

كم سنةً استغرقت المركبةُ الفضائية ڤوياجر 2 ـ منذ انطلاقها ـ للوصول إلى:
(أ) المشتري؟ .... ؛ (ب) زُحَل؟ .... ؛
(ج) أورانوس؟ .... ؛ (د) نپتون؟ ....

الجواب: (أ) سنتين؛ (ب) 4 سنوات؛ (ج) 8,5 سنوات؛ (د) 12 سنة.

الجدول 2.8 خصائص الكواكب

	عطارد	الزهرة	الأرض
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	57,9	108,2	149,6
(بملايين الأميال)	(36)	(68)	(93)
بالوحدات الفلكية	0,39	0,72	1,00
متوسط السرعة المدارية، كم/ثا	47,87	35,02	29,79
الدور المداري، النجمي	87,97 يوماً	224,70 يوماً	365,26 يوماً
الاقتراني (بالأيام)	116	584	–
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	58,6 يوماً	243,019 يوماً	سا د ثا 4 56 23
ميل المدار على فلك البروج	°7 ′00	°3 ′24	°0 ′00
لا مركزية المدار	0,206	0,007	0,017
التفلطح	0	0	0,0034
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	4،879 (3،030)	12،104 (7،520)	12،756 (7،930)

	عطارد	الزهرة	الأرض
الكتلة (الأرض = 1)	0,06	0,82	1,00
الكثافة، طن/ م3	5,43	5,24	5,52
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,38	0,90	1,00
التوابع المؤكَّدة	0	0	قمر واحد

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تتمة)

	المرّيخ	المشتري	زحل
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	227,9	778,3	1429,4
(بملايين الأميال)	(142)	(486)	(888)
بالوحدات الفلكية	1,52	5,20	9,56
متوسط السرعة المدارية، كم/ ثا	24,13	13,06	9,65
الدور المداري، النجمي الاقتراني (بالأيام)	686,98 يوماً 780	11,86 سنة 399	29,46 سنة 378
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	سا د ثا 24 37 26	9,842 ساعة	10,656 ساعة
ميل المدار على فلك البروج	48′ 1°	18′ 1°	30′ 2°
لا مركزية المدار	0,093	0,048	0,056
التفلطح	0,0065	0,065	0,098
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	6،794 (4،220)	142،980 (88،850)	120،540 (74،900)
الكتلة (الأرض = 1)	0,11	317,83	95,16
الكثافة، طن/ م3	3,94	1,33	0,70
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,38	2,54	1,08
التوابع المؤكَّدة	قمران	16 قمراً حلقات	18 قمراً حلقات

الجدول 2.8 خصائص الكواكب (تتمة)

	أورانوس	نبتون	بلوتو
متوسط البُعد عن الشمس			
بملايين الكيلومترات	2875,0	4504,4	5915,8
(بملايين الأميال)	(1787)	(2799)	(3676)
بالوحدات الفلكية	19,22	30,11	39,55
متوسط السرعة المدارية، كم/ثا	6,80	5,43	4,74
الدور المداري، النجمي الاقتراني (بالأيام)	84,01 سنة 370	164,79 سنة 367	247,69 سنة 367
الدور المحوري، النجمي (بالأيام والساعات والدقائق والثواني)	17,239 ساعة	16,109 ساعة	6,39 ساعة
ميل المدار على فلك البروج	48′ 0°	48′ 1°	6′ 17°
لا مركزية المدار	0,046	0,009	0,249
التفلطح	0,023	0,017	0؟
القطر الاستوائي، بالكيلومتر (بالميل)	51،120 (31،770)	49،530 (30،780)	2300 (1430)
الكتلة (الأرض = 1)	14,50	17,20	0,003
الكثافة، طن/م3	1,30	1,76	1,1
الثقالة السطحية (الأرض = 1)	0,91	1,19	0,06
التوابع المؤكَّدة	17 قمراً حلقات	8 أقمار حلقات	قمر واحد

13.8 معلومات عامة عن الكواكب

يساعدنا علمُ الكواكب المقارَن - comparative planetology - وهو دراسةُ كوكبٍ بمقارنته بغيره - على تحسين إدراكنا لكوكبنا، فضلاً على سائر كواكب منظومتنا الشمسية. ويبيِّن الجدول 2.8 الخصائصَ العامة للكواكب التسعة السيّارة.

لاحظَ علماء الفلك أنَّ عطارد والزُّهَرة والأرض والمرِّيخ تشترك بخصائص فيزيائية ومداريّة متماثلة، فأطلقوا عليها اسم الكواكب الأرضية terrestrial planets لشَبَهِها بالأرض؛ وأنَّ المشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون تتماثل في ما بينها أيضاً فأسْمَوْها الكواكبَ العملاقة giant أو المشترويّة Jovian (نسبةً إلى كوكب المشتري). أما بلوتو الغامض فلا ينسلك في أيٍّ من المجموعتين.

ادرسِ الجدول 2.8 واستنتجْ أوجه اختلاف الكواكب الأرضية عن الكواكب العملاقة من حيث (أ) بُعدها عن الشمس، (ب) حجمُها، (ج) كتلتُها، (د) كثافتها.

الكواكب الأرضية	الكواكب العملاقة
(أ)	(أ) ....
(ب)	(ب) ....
(ج)	(ج) ....
(د)	(د) ....

الجواب:

الكواكب الأرضية	الكواكب العملاقة
(أ) قريبة من الشمس	(أ) بعيدة عن الشمس
(ب) صغيرة القطر	(ب) كبيرة القطر
(ج) صغيرة الكتلة	(ج) كبيرة الكتلة
(د) عالية الكثافة	(د) منخفضة الكثافة

14.8 أيامٌ وسنوات

نسمّي دَوْراً مدارياً[1] period of revolution المدةَ اللازمة لجِرمٍ سماويٍّ ليطوف دورةً واحدةً تامةً حول مداره.

(1) أو orbital period (المعرَّب)

ونسمّي دَوْراً مدارياً نجمياً (أو فلكياً) sidereal revolution period مدةَ سنة للكوكب بالنسبة إلى النجوم بالقياس الزمني الأرضي. أما الدَّور المداريُّ الاقتراني synodic revolution period لكوكب فهو دورُه المداريُّ كما يُرى من الأرض، ويعادل الزمنَ اللازمَ للكوكب ليعود إلى موقعٍ ظاهريٍّ aspect معيَّن بالنسبة إلى الشمس كما يظهر ذلك من الأرض، كوضعِ الاقتران conjunction مثلاً.

يختلف الدَّورُ الاقترانيُّ لكوكبٍ عن دَوْرِه النجميِّ لأن الأرضَ نفسَها تطوف في مدارها حول الشمس.

من ناحيةٍ أخرى فإن الدَّوْر المحوري period of rotation هو المدة اللازمة لجِرمٍ سماوي ليُتمَّ دورةً واحدةً حول محوره. والدَّورُ المحوريُّ النجميُّ sidereal rotation period لكوكب هو مدة يومٍ نجميٍّ (فلكي) على الكوكب (الفقرة 23.1). والدَّورُ المحوريُّ الاقتراني synodic rotation period لكوكب هو مدة يومٍ شمسيٍّ واحد عليه، أي الفاصل الزمني بين عبورَيْن زواليَّيْن meridian transits متعاقبَيْن للشمس، كما قد يَرى ذلك راصدٌ على ذلك الكوكب.

ومنذ عَهْد بعيد يُتَّخَذ دورانُ الأرضِ حول محورها معياراً لضبط الزمن timekeeping، إلا أن دوران الأرض ليس منتظماً تماماً؛ فدقَّته جيدةٌ حتى نحو 0,001 من الثانية يومياً. في مقابل ذلك هناك الميقاتيات الذرّية atomic clocks التي هي أكثر الميقاتيات دقّة، وهي تعمل على أساس قياس تردُّدات الطنين الطبيعي لذرَّةٍ معلومة - من السيزيوم cesium أو الهيدروجين أو الزئبق - إذ تصل دقَّتُها إلى واحد من مليار من الثانية يومياً. وتتولى الهيئةُ الدولية لمراقبة دوران الأرض International Earth Rotation Service رصدَ الفارق بين المعيارَيْن الزَّمنيَّيْن، وتقوم كلَّ حين بإدخال إضافات من ثانية واحدة، تسمّى الثواني الكبيسة leap seconds، على ميقاتيات العالَم كافةً حسب الضرورة.

من الجدول 2.8 استنبط ما يلي:

(أ) أيُّ الكواكب العملاقة يتميَّز بأطول سنة؟ وكم تعادل بالسنوات الأرضية؟ ....

....؛

(ب) أيُّ الكواكب يتميَّز بأطول يومٍ نجميّ؟ وكم يعادل بالأيام الأرضية؟ ....

....

الجواب: (أ) نيتون؛ تعادل سنته 164,8 سنة أرضية؛ (ب) الزُّهَرة؛ يعادل يومُه 243 يوماً أرضياً.

15.8 الكويكبات

الكويكبات asteroids، أو الكواكب الثانوية، أجرامٌ صخريةٌ صغيرة غير منتظمة الأشكال تدور حول الشمس. وأغلبها يتبع مساراتٍ داخل منطقة تسمى الطَّوقَ الكويكبيّ asteroid belt، تقع بين مدارَي المرّيخ والمشتري[1].

ومن خلال مقراب تبدو الكويكباتُ شبيهةً بالنجوم. ويعود اكتشافُ أكبر كويكب إلى الفلكي الصِّقِلِّي غيوسيبي پيازي Giuseppi Piazzi (1746 ـ 1826) عام 1801، الذي رقَّمه 1 وسمّاه سيريز Ceres، ويبلغ قطره 950 كيلومتراً (590 ميلاً). ومنذ ذلك الحين صُنِّفَ ما يربو على 6000 كويكب، يضاف إليها نحو 200 كويكب كلَّ سنة. ويبدو أن كتلة الكويكبات مجتمعةً لا يتجاوز 0,0001 من كتلة الأرض، علماً بأن مليارات أخرى منها دقيقة كجسيمات الغبار يحتمل وجودها أيضاً.

(1) وتبعد عن الشمس بنحو 2 إلى 4 واحدات فلكية. (المعرِّب)

كانت أولُ صورة تُلتَقَط لكويكبٍ عن قرب هي صورة الكويكب 951 غاسپرا Gaspra التي التقطتْها المركبةُ الفضائيةُ الأمريكيةُ غاليليو سنة 1991 (الشكل 16.8). يلاحَظ أن غاسپرا قطعةٌ صخريةٌ غليظةٌ غير منتظمة الشكل، تبلغ أبعادها زهاء 20 X 12 X 11 كم (7 X 12 X 8 أميال)، وتنتشر على سطحه فوَّهات، وتغشاه أنقاضٌ ترابية.



الشكل 16.8 أوّل صورةٍ قريبةٍ لكويكب، 951 غاسپرا، التقطتها مركبةُ الفضاء الأمريكيةُ غاليليو عندما كانت هي والكويكب على بُعد 55 مليون كيلومتر عن الأرض. يقارب قطرُ أصغرِ فوَّهاته 300 متر.

يدور غاسپرا عكس اتجاه حركة عقارب الساعة في زمنٍ يزيد قليلاً على سبع ساعات. وقد لوحظَ أن مقدار ضوء الشمس الذي تعكسه الكويكباتُ الأخرى على الأرض يتفاوت ويتكرَّر كلَّ عدَّة ساعات، وهذا يدلُّ على أنها

هي أيضاً غير منتظمة الأشكال، وأنها تدور حول نفسها (الشكل 16.8).

تُصنَّف الكويكباتُ في ثلاثة أنواع رئيسية بالاستعانة بالطيفيَّات الضوئية spectrophotometry، وهي الوسيلةُ الدقيقة لتعيين الأقدار magnitudes ضمن مناطق ذات أطوال موجيَّة معيَّنة. فكويكبات النوع C C-type asteroids سُمِّيت كذلك لغَلَبة الكربون على تركيبها، فهي شديدة الدُّكنة ويكثر وجودها في الطوق الكويكبي الخارجي. وهناك كويكبات النوع S S-type asteroids التي تحتوي على السيليكات ممزوجةً بالمعادن، وتتَّصف باعتدال درجة سطوعها، وتوافرها في الطوق الداخلي. ثم هناك كويكبات النوع M M-type asteroids التي يُعتقد أنها معدنيةٌ في معظم تركيبها، وتبدو ساطعةً جداً.

وأغلب الظن أن الكويكبات الساطعةَ هي تكتُّلاتٌ من المادة تكثَّفَتْ من السديم الشمسي الأصلي، لكنها لم تتنامَ بما يكفي لتكون كوكباً كبيراً. فأسطع الكويكبات هو كويكب 4 ڤيستا Vesta الذي يبلغ قطره 530 كيلومتراً (330 ميلاً)، وأخفتها ربما تكون شظايا ناشئةً عن حوادث تصادمٍ متكررة.

يجدر بالذكر أن بعض الكويكبات تقترب من الأرض دوريّاً اقتراباً نسبياً؛ فكويكبات آتِنْ Aten asteroids لها مداراتٌ داخل مدار الأرض، في حين تعبر كويكباتُ أپولو Apollo asteroids مدارَ الأرض وتتحرك ضمنه وصولاً إلى نقطة الرأس perihelion. وقد رُصدت كويكبات أپولو هذه فعلاً على مسافة مليون كيلومتر فقط أو أقل عن الأرض. أما كويكبات آمور Amor asteroids ـ التي تقع مداراتُها على بُعد 1 إلى 1,3 واحدة فلكية ـ فتبقى خارج مدار الأرض دوماً.

هذا ويخشى كثيرٌ من الناس حدوثَ تصادمٍ كارثيٍّ مدمِّر لدى رؤية كويكب قريب أولَ مرة. ويقرِّر علماءُ الفلك أن الكويكبات التي يتجاوز قطرُها الكيلومتر تمثِّل خطراً وبيلاً مصلتاً. ولعلَّ المقاريبَ الحديثةَ قادرةٌ على رصد موقع كويكب كهذا قبل وصوله الأرضَ بعشرات السنين، فتُتَّخذ

الإجراءاتُ اللازمة لاعتراضه تفادياً لخطره[1].

وإلى عهد قريب، أكَّد تحليلُ إشاراتٍ رادارية مرتدَّة عن كويكب، أنه أوَّلُ كويكب معدنيٍّ ذي مدار قريب من الأرض. وقد اكتُشِف الماء على شكل ماء إماهة water of hydration على كويكب 1 سيريز أولاً. ومَنْ يدري، فلربما صار بالإمكان - في غضون القرن الحادي والعشرين - نَقْبُ الكويكباتِ المعدنية لتوفير المواد الأوَّلية لمستعمِري الفضاء الخارجي، وللحملات العتيدة في ما بين الكواكب مستقبلاً.

وقد رُصِدَ عددٌ من الأجرام الجليدية الصغيرة، التي لا يُعرَف منشؤها على وجه اليقين، في مدارات حول الشمس خارج مدار كوكب نبتون. وربما أنها أوَّلُ الكويكبات التي رُصدت في منطقة خارجية على الإطلاق. من هذه الأجرام 2060 شيرون Chiron الغريب الأطوار الذي يبلغ قطره 120 كيلومتراً (62 ميلاً)، وولَّد غلافاً غازياً منتشراً لَفَّهُ عندما تحرك مقترباً اقتراباً شديداً من الشمس سنة 1990، مما يوحي بوجود جليد سطحيّ، وهذا من صفات المذنَّبات. لذلك فقد يكون شيرون مذنَّباً لا كويكباً «طبيعياً»، بل قد تكون هذه الأجرام الواقعة وراء كوكب نبتون هي الدليلَ المباشِر الأول على ما يسمى بحزام كويبر Kuiper belt، الذي يُفتَرض أنه مصدرُ المذنَّبات القصيرة الدَّوْر.

ما هي الكويكبات؟ ....

....

الجواب: حشودٌ من أجرامٍ صخريةٍ غير منتظمة الأشكال، تطوف حول الشمس بين مدارَي المرّيخ والمشتري على وجه الخصوص.

(1) إن كويكباً يبلغ قطره كيلومتراً واحداً يصطدم بالأرض قمينٌ بأن يحرِّر كمية من الطاقة تعادل انفجاراً نووياً بطاقة تدميرية قد تصل إلى 40،000 ميغا طن. لذلك يحثُّ علماءُ الفلك على إنشاء منظومة دولية للإنذار المبكِّر عند اقتراب كويكبات من الأرض. (المعرِّب)

الجدول 3.8 توابع المنظومة الشمسية

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
الأرض	القمر	3،474	384،500	27,322	
المرّيخ	فوبوس	26x22x18	9،400	0,319	هول، 1877
	ديموس	16x12x10	23،500	1,262	هول، 1877
المشتري	ميتيس	(40)	128،000	0,295	سينوت/ ڤوياجر1، 1980
	أدراستيا	20	129،000	0,298	جويت، دانييلسون، 1979
	أمالثيا	262x146x134	180،000	0,498	بارنارد، 1892
	ثيبي	(100)	222،000	0,675	سينوت/ ڤوياجر1، 1980
	آيو	3،642	422،000	1,769	غاليليو، 1610
	أوروبا	3،138	671،000	3,551	غاليليو، 1610
	غانيميد	5،268	1،070،000	7,155	غاليليو، 1610
	كاليستو	4،608	1،885،000	16,689	غاليليو، 1610
	ليدا	10	11،110،000	238,7	كوال، 1974
	هيماليا	170	11،470،000	251,6	پيرين، 1904
	ليسيثيا	24	11،710،000	259,2	نيكولسون، 1938
	إلارا	80	11،470،000	259,6	پيرين، 1905
	أنانكي	20	21,200,000	631 R	نيكولسون، 1951
	كارمي	30	22,350,000	692 R	نيكولسون، 1938
	پاسيفي	36	23,330,000	735 R	ميلوتي، 1908
	سينوپي	28	23,370,000	758 R	نيكولسون، 1914
زُحَل	بان	20	134،000	0,575	شوولتر/ ڤوياجر 2، 1990
	أطلس	38x34x28	137،000	0,601	تيريل/ ڤوياجر 1، 1980
	پروميثيوس	148x100x68	139،000	0,613	كولينْز/ ڤوياجر 1، 1980
	پاندورا	110x88x62	142،000	0,629	كولينْز/ ڤوياجر 1، 1980
	جانوس*	198x192x152	151،000	0,695	دولفوس، 1966
	إپيميثيوس*	138x110x110	151،000	0,694	فاونتين/ ڤوياجر 1، 1980

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
زُحَل	ميماس	398	187،000	0,942	هيرشل، 1789
	إنسيلادوس	498	238،000	1,370	هيرشل، 1789
	تيثيس	1،060	295،000	1,888	كاسيني، 1684
	تيليستو	30x26x16	295،000	1,888	سميث/ ڤوياجر 1، 1980
	كاليپسو	30x16x16	295،000	1,888	پاسكو/ ڤوياجر 1، 1980
	دايوني	1،120	378،000	2,737	كاسيني، 1684
	هيلين	32	378،000	2,737	لاكس، لاكاشوز، 1980
	رِيا	1،528	526،000	4,518	كاسيني، 1672
	تيتان	5،150	1،221،000	15,94	هايغنْز، 1655
	هيپيريون	185x140x113	1،481،000	21,28	بوند، لاسيل، 1848
	أيابيتوس	1،436	3،561،000	79,33	كاسيني، 1671
	فيبي	220	12,960,000	550.4 R	پيكيرينغ، 1898
أورانوس	كورديليا	26	49،800	0,336	تيريل/ ڤوياجر 2، 1986
	أوفيليا	30	53،800	0,38	تيريل/ ڤوياجر 2، 1986
	بيانكا	42	59،200	0,435	ڤوياجر 2، 1986
	كريسيدا	65	61،800	0,465	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	ديدمونة	54	62،600	0,476	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	جوليت	82	64،400	0,494	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	پورشيا	108	66،100	0,515	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	روزاليند	54	70،000	0,560	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	بيلندا	66	75،300	0,624	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	پَكْ	154	86،000	0,764	سينوت/ ڤوياجر 2، 1986
	ميراندا	480x468x466	129،900	1,413	كويپر، 1948
	آرييل	1162x1156x1156	190،900	2,521	لاسيل، 1851
	أمبرييل	1،170	266،000	4,144	لاسيل، 1851
	تيتانيا	1،578	436،300	8,706	هيرشل، 1787
	أوبيرون	1،522	583،400	13,46	هيرشل، 1787

الكوكب	التابع	قطره (كم)	متوسط بُعده عن الكوكب[أ] (بالكيلومترات)	دوره المداري[ب] (بالأيام)	اكتشافه
أورانوس	كاليبان	(80)	7،169،000	579,4	غلادمان وآخرون، 1997
	سيكوراكس	(160)	12،214،000	1284	غلادمان وآخرون، 1997
	S/1986 U10 ج	(80)	76،000،000	0,638	كاركوشا/ ڤوياجر2، 1999
	S/1999 U1 ج				كاڤيلارز وآخرون، 1999
	S/1999 U2 ج				كاڤيلارز، 1999
نپتون	نياد	58	48،000	0,30	تيريل/ ڤوياجر 2، 1989
	ثالاسا	80	50،000	0,31	تيريل/ ڤوياجر 2، 1989
	ديسپينا	148	52،500	0,34	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	غالاتيا	158	62،000	0,43	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	لاريسا	208x178	73،600	0,56	رايتسيما/ ڤوياجر 2، 1989
	پروتيوس	436x416x402	117،600	1,12	سينوت/ ڤوياجر 2، 1989
	تريتون	2,704	354,000	5.877 R	لاسيل، 1846
	نيريد	340	5،510،000	360,1	كويپر، 1949
پلوتو	كارون	1،186	19،100	6,387	كريستي، 1978

(أ) متوسط البُعد في وضع التقابل. (ب) الدَّور النجمي (الفلكي). (ج) مقترَح، بانتظار التأكيد.

R = مدار تراجعي. * توابع مشترِكة في المدار. القيم المحصورة بين قوسين قيمٌ تقديرية.

ملاحظة: في الحالة التي كان فيها اكتشافُ التابع نتيجةً لدراساتٍ تحليلية أجريت لاحقاً لصُوَرٍ بثَّتْها مركبتا الفضاء ڤوياجر 1 و 2، ذُكِر اسم الفلكي الذي رصدَ التابعَ أول مرة، مقترناً بسنة الاكتشاف إزاء اسم مركبة الفضاء.

16.8 مقايسات في الأقمار

تَقَدَّمَ لك أن الكواكبَ العملاقةَ أعظمُ كتلةً وأقوى جاذبيةً من الكواكب الأرضية، ومن هنا كانت أقدرَ على الاحتفاظ بالأقمار التي تكوَّنت في الجوار أو مرَّت به.

استعِنْ بالجدولين 2.8 و3.8 للإجابة عن الأسئلة التالية: (أ) كم عدد أقمار الكواكب الأرضية؟؛ (ب) ما عدد الأقمار المؤكَّدة الوجود للكواكب العملاقة؟ (ج) عدِّد أقمارَ الكواكب التي هي أكبر من قمرنا. (د) ما هو أكبر قمرٍ معروف في المنظومة الشمسية؟

(أ) ....

(ب) ....

(ج) ....

(د) ....

الجواب: (أ) للكواكب الأرضية ثلاثةُ أقمارٍ فقط. فللأرض قمرٌ واحد، وللمريخ قمران. (ب) للكواكب العملاقة أقمارٌ وحلقاتٌ كثيرة؛ 63 قمراً و 4 منظوماتٍ حلقية موجودةٌ على وجه اليقين. (ج) أقمار المشتري: غانيميد وكاليستو وآيو؛ وقمر زُحَل: تيتان. (د) غانيميد.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثامن وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. ممَّ تتألّف المنظومة الشمسية؟ ....

....

2. ما الفرق الجوهري بين النجم والكوكب؟ ....

....

....

3. اذكر حقيقتين تعضدان النظريةَ السديميةَ في تكوُّن المنظومة الشمسية .....

....

4. أيُّ أطوار القمر ترى - عند خطوط العرض الشمالية المتوسطة - إذا كان القمر بازغاً في السماء قرابة

(أ) الساعة 6 مساء؟ ....

(ب) وقت الظهيرة؟ ....

5. وافِقْ بين كل شخصيةٍ علميةٍ والإسهام الذي قدَّمَته لتطوير فهمنا للمنظومة الشمسية.

-- (أ) وَصَفَ الرؤيةَ الأرضيةَ المركز للكون في كتابه «المجَسْطي» نحو سنة 150 م.

-- (ب) أَقَرَّ قوانينَه الثلاثةَ في الحركة الكوكبيَّة تجريبياً من معطياتٍ رصدية.

-- (ج) أول من استعمل المقراب في الرصد الفلكي واكتشفَ أطوارَ الزُّهَرة.

-- (د) وَضَعَ كتاباً يصف فيه النموذجَ الشمسيَّ المركز للحركات الكوكبيَّة، نُشِر سنة 1543 وهي سنة وفاته.

-- (هـ) صاغَ القوانينَ الثلاثةَ الأساسيةَ في الحركة والقانون العام للجاذبية.

-- (و) رَصَدَ ودَوَّنَ الحركاتِ الكوكبيةَ ما يقارب 20 سنة.

(1) كوپرنيكوس.
(2) غاليليو.
(3) كِپْلر.
(4) نيوتن.
(5) بطليموس.
(6) تيخو براهه.

6. ما الذي يبقي الكواكبَ في مداراتها حول الشمس؟ ....

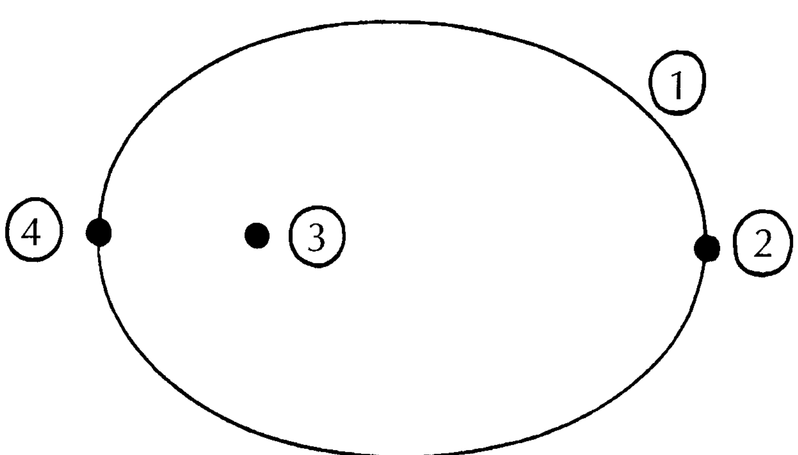
....

....

....

....

7. استعِن بالشكل 17.8 في تعيين ما يلي: (أ) الشمس ....؛ (ب) القطع الناقص ....؛ (ج) نقطة الذَّنَب ....؛ (د) نقطة الرأس ....؛ (هـ) النقطة التي تكون فيها قوةُ الثقالة أعظمية ....؛ (و) النقطة التي تكون عندها حركةُ الكوكب أبطأ ما يمكن ....



الشكل 17.8 الحركة الكوكبية.

8. كم الفارق الزمنيّ بين الشهر القمريّ النجميّ (الفلكي) والشهر القمري الاقتراني؟ أوضح إجابتك ....

9. ما القوة التي تبقي مركباتِ الفضاء في مساراتها في أثناء انتقالها عبر المنظومة الشمسية؟ ....

10. صنِّف كلاً مما يلي بصفتها خَصِيْصَةً من خصائص (1) الكواكب الأرضية أو (2) الكواكب العملاقة.

(أ) بعيدة عن الشمس ....

(ب) صغيرة القطر ....

(ج) كبيرة الكتلة ....

(د) منخفضة الكثافة ....

(هـ) قصيرة دَوْر الدوران المداري ....

(و) قصيرة دَوْر الدوران المحوري ....

(ز) لها أقمار كثيرة ....

11. قابِلْ كلَّ وصفٍ مما يلي بالكوكب الذي ينطبق عليه الوصف. استعِنْ بالجدول 2,8.

--	(أ)	أقربها إلى الشمس.	(1) عطارد.
--	(ب)	مداره أكثر المدارات مَيْلاً نحو مستوي فلك البروج.	(2) الزُّهَرة.
			(3) الأرض.
--	(ج)	له أطول يوم نجميّ.	(4) المرّيخ.
--	(د)	سنته تعادل سنتين أرضيتين.	(5) المشتري.
--	(هـ)	أكبرها كتلة.	(6) زُحَل.
--	(و)	أعلاها كثافة.	(7) أورانوس.
			(8) نبتون.
			(9) بلوتو.

12. ما هي الكويكبات؟ ....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. من نجم واحد هو الشمس، وتطوف حولها تسعةُ كواكب مع أقمارها، إضافةً إلى الكويكبات، والمذنَّبات، والغاز والغبار البَيْكوكبيّ. (الفقرة 1.8)

2. الكتلة. فالكوكب أخفض كتلةً وحرارةً من النجم؛ وفي حين أن النجم يولِّد ضوءَه من ذاته، فإن الكوكب يضيء بانعكاس ضوء النجم عليه. (الفقرة 1.8)

3. تطوف الكواكبُ جميعُها حول الشمس في اتجاهٍ واحد. تقع مداراتُ كل الكواكب ـ باستثناء پلوتو ـ في مستوي فلك البروج تقريباً. (الفقرة 2.8)

4. (أ) البدر؛ (ب) التربيع الأول. (الفقرة 4.8)

5. (أ) 5؛ (ب) 3؛ (ج) 2؛ (د) 1 ؛ (هـ) 4؛ (و) 6. (الفقرات 6.8 إلى 9.8)

6. تركيب حركتها الأمامية وحركتها الانجذابية نحو الشمس بتأثير قوة الثقالة. (الفقرة 9.8)

7. (أ) 3؛ (ب) 1؛ (ج) 2 ؛ (د) 4؛ (هـ) 4 ؛ (و) 2. (الفقرتان 8.8 و9.8)

8. يومان. في الوقت الذي يطوف فيه القمرُ حول الأرض، تطوف الأرضُ

والقمرُ معاً حول الشمس .

(الفقرتان 10.8 و11.8)

9. الثقالة. (الفقرة 12.8)

10. (أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 2؛ (هـ) 1؛ (و) 2؛ (ز) 2.

(الفقرات 13.8 إلى 15.8 والجدول 2.8)

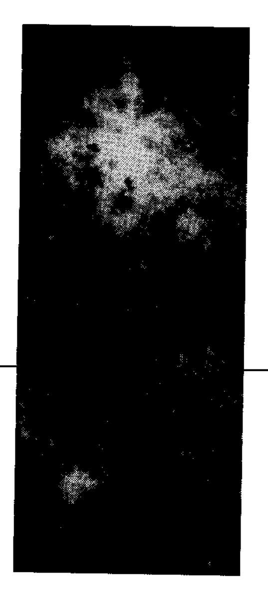
11. (أ) 1؛ (ب) 9؛ (ج) 2؛ (د) 4؛ (هـ) 5؛ (و) 3.

(الفقرات: 2.8 و 13.8 و 14.8 والجدول 2.8)

12. أجرامٌ صخريةٌ غير منتظمة الأشكال، طوّافةٌ حول الشمس بين مدارَي المريخ والمشتري على وجه الخصوص. (الفقرتان 1.8 و 16.8)

9

الكواكب



الأرض مهد البشر، لكن الإنسان لا يمكن أن يحيا في المهد إلى الأبد.

كونستانتين تسيولكوفسكي (1857 ـ 1935)

الأهداف:

- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة والأحوال السطحية لعطارد والزُّهَرة والأرض والمرّيخ.
- تفسير ما يُقصد بـ «نجم الصباح» و «نجم المساء».
- دراسة الغُلُف الجويّة لكلٍّ من عطارد والزُّهرة والأرض والمرّيخ والمشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون وبلوتو.
- وصف أحوال المرّيخ في مواقع هبوط مركبتَي الفضاء فايكنغ 1 و2.
- عرض مشاهدتَيْن تشيران إلى احتمال تدفُّق الماء على المرّيخ فيما مضى من الزمان.
- مقارنة البِنْية الداخلية للأرض بالبِنْية الداخلية للمشتري.

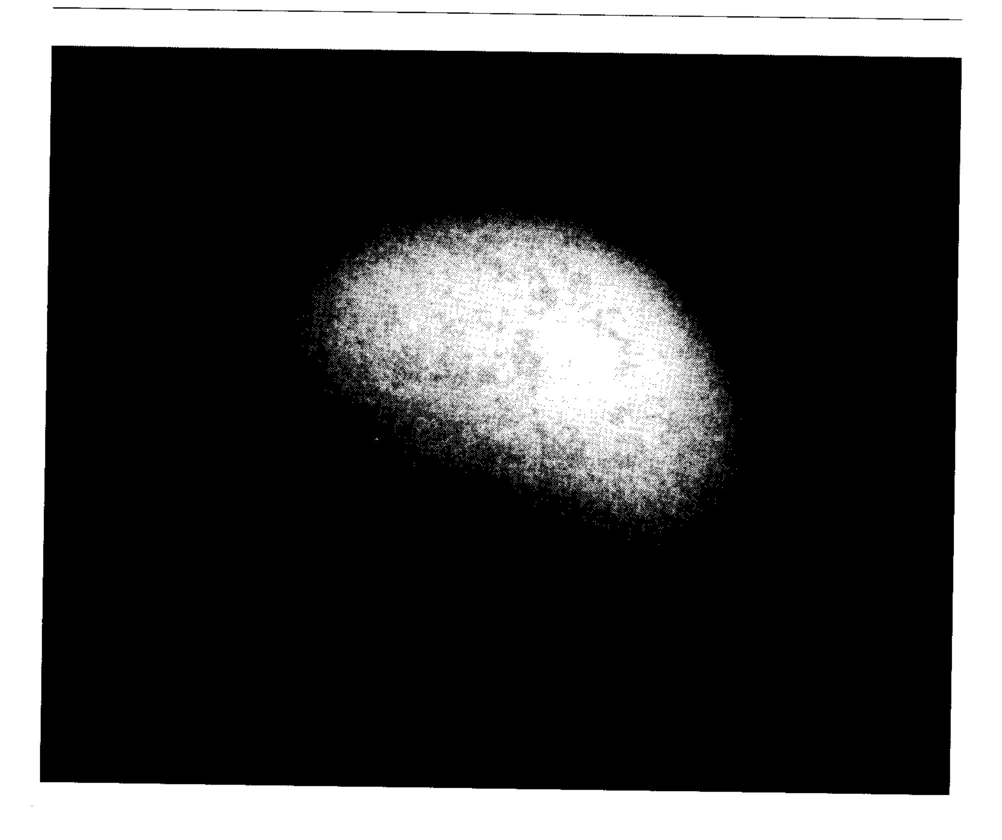
- عرض نظرية تكتونيّات الصفائح أو الألواح (الانجراف القارّي)، وصِلَتها بالنشاط الجيولوجي على الأرض.
- إيراد اثنين من مصادر القلق البيئيّة المتعلّقة بجوِّ الأرض.
- ذِكْر سِمَةٍ شهيرةٍ للزُّهَرة والمريّخ والمشتري وزُحَل، يمكن رصدها بمقرابٍ صغير، وتفسيرها وفقاً للمعطيات الحالية.
- بيان أوجه التشابه والاختلاف في الخصائص العامة للمشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون.
- عرض ما عُرِف عن توابع المريخ والمشتري وزُحَل وأورانوس ونبتون وبلوتو.
- وصف الخصائص المعروفة لكوكب بلوتو.

1.9 عطارد

عطارد Mercury أقربُ الكواكب إلى الشمس، وغالباً ما يكون متوارياً في وهجها (الشكل 1.9). وتسميته نسبةً إلى رسول الآلهة الرومانية الرشيق الحركة تسميةٌ موفَّقة؛ فهو يسعى حول الشمس أسرع من سائر الكواكب، بمعدَّل سرعة يبلغ 172،000 كم/ ساعة (107،000 ميل/ ساعة).

وأول المَشاهد القريبة لعطارد كان مما بثَّته مركبةُ الفضاء الرَّبوطيَّة الأمريكية مارينر 10، التي تمكَّنت من تصوير نصف الكوكب فوتوغرافياً بين سنتي 1974 ـ 1975 باقترابها ثلاث مرات منه (الشكل 2.9).

يبدو عطارد شبيهاً بقمرنا؛ فسطحه قديمٌ ومثقَلٌ بالفوَّهات التي توحي بتعرُّض الكواكب الداخلية كلِّها إلى وابلٍ من الأحجار النيزكية في المراحل الأخيرة من تكوُّنها. تسمّى أكبرُ فوَّهة على عطارد حوضَ كالوريس Caloris Basin، ويبلغ قطرها 1300 كيلومتر (800 ميل). وتدلّ المساحاتُ الكبيرةُ الملساءُ من سطحه، الشبيهةُ ببحار القمر، على أن الكوكبَ قد شهدَ تدفُّق حُمَمٍ بركانية على نطاق واسع في الماضي السحيق.

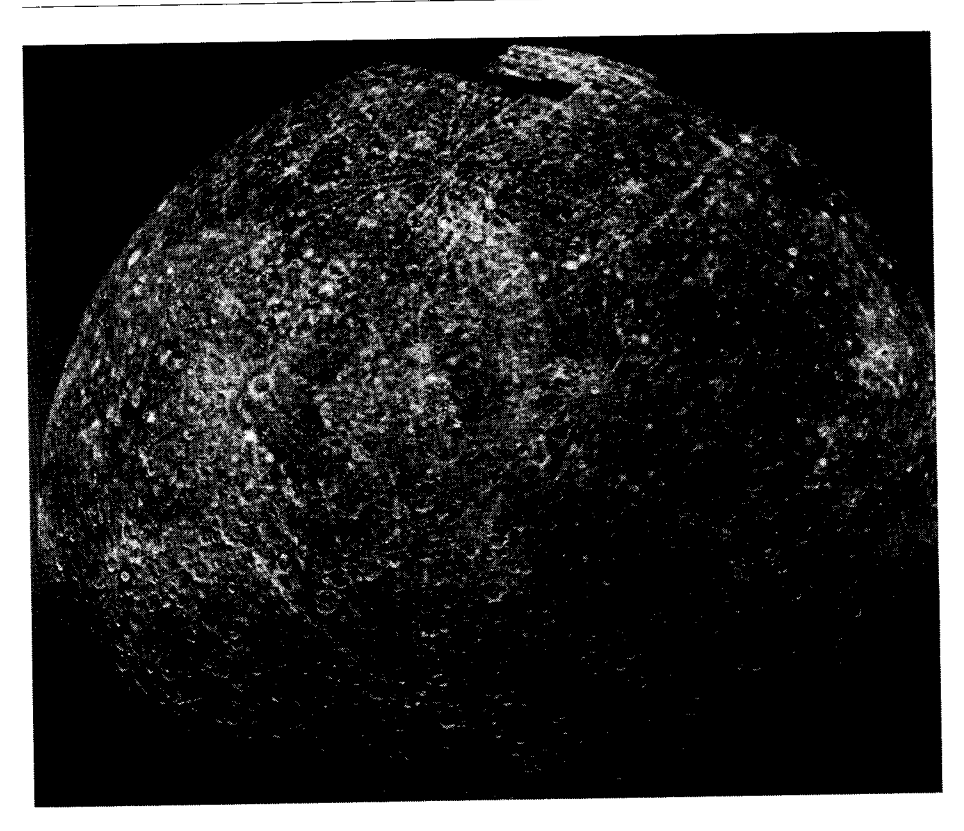


الشكل 1.9 من أجود الصُوَر التي يمكن التقاطها لكوكب عطارد باستعمال مقرابٍ أرضي.

تنتشر في جميع أنحاء الكوكب أجرافٌ scarps يصل ارتفاعُها إلى 2 كم (1,2 ميل) وطولها إلى 1500 كم (930 ميلاً)، يبدو أنها تكوَّنت لدى تبرُّد باطن عطارد وتقلّصه، وانضغاط قشرته نتيجةً لذلك.

ومحور دوران عطارد شاقولي (وليس مائلاً كمحور دوران الأرض)، وهذا يستوجب أن تكون الشمسُ عموديةً دوماً على خطِّ استوائه. كذلك فليس ثمة فصولٌ تتعاقب على الكوكب. ويلاحَظ بعضُ ضوء الشمس على قطبَيْه باستمرار.

تتفاوت درجاتُ الحرارة من يحموم بالغِ الحرارة في ضوء الشمس المباشر يبلغ 700 كلفن (430° مئوية أو 800° فارنهايتية)، إلى قارسٍ لا يتعدّى



الشكل 9 . 2 كوكب عطارد . «توليفة» من أكثر من 200 صورة التقطتها مركبةُ الفضاء مارينر 10. يقارب قطرُ أكبر فوَّهاته 170 كم (100 ميل). لاحِظْ أيضاً الأشعةَ النيِّرةَ المنبعثة من فوَّهاتٍ خلَّفها صدمٌ حديثُ العهد، والسهولَ الملساءَ الدكناء، والأجرافَ الكبيرة.

90 كلڤن (180° ـ مئوية أو 300° ـ فارنهايتية) على الجانب المظلم من الكوكب.

تحرِّر درجاتُ الحرارة المفرطة الارتفاع موادَّ سريعة التطاير من سطح الكوكب، فيتكوَّن من ذلك غلافٌ جوّيٌّ واهٍ جداً اكتُشِفَ فيه الهليوم والصوديوم والهيدروجين، وربما الأكسجين. أما ضغط الهواء السطحي فلا يكاد يصل إلى جزءين من تريليون من ضغط الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر (أي أقل من 2×10^{-9} ملّيبار). تتسرَّب معظمُ الغازات، ومنها بخار الماء المحتمل، من الكوكب، إلا أن بعضها قد ينحبس بجوار المناطق الباردة عند القطبين، ويترسَّب كنوعٍ من الثلج.

تجدر الإشارة إلى أن نصف الكرة العطاردية التي لم يسبق أن صُوِّرت من قبلُ تصويراً فوتوغرافياً، قد جرى رصدها أوَّلَ مرةٍ سنة 1991 برادارٍ أرضيٍّ التمركز. ويُظهِر التفاوتُ في درجة العاكسية السطحية للإشارات الرادارية تفاصيلَ السمات التضاريسية السطحية. فتشير النتائج إلى وجود رواسب جليدية عند قطبَيْ عطارد. ويبدو أن درجة الحرارة في المناطق القطبية منخفضةٌ إلى حدِّ الإبقاء على الجليد متجمِّداً عند الدرجة 125 كلڤن (148° ـ مئوية أو 235° ـ فارنهايتية). يتميز عطارد بحقل مغنطيسيٍّ ضعيف جداً يؤثِّر في حركة الجُسَيْمات المشحونة في الريح الشمسية، وقد يؤثِّر كذلك في الوفرة المتغيِّرة للصوديوم المرصود في غلافه الجوّي الواهي.

إذا كان لعطارد قشرةٌ من صخرٍ سيليكاتي خفيف (متوسط كثافته يقارب ثلاثة أضعاف كثافة الماء)، فكيف تفسِّر متوسط كثافة الكوكب التي تقارب 5,5 مرات كثافة الماء؟ ....

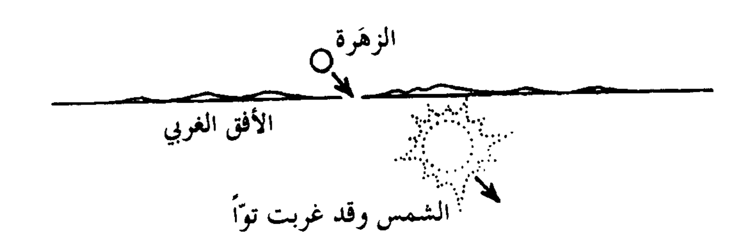
....

الجواب: يترجَّح أن لعطارد لبّاً شديد الكثافة. (يقدِّر العلماءُ أنَّ لعطارد لبّاً حديدياً كثيفاً يناهز حجمَ قمرنا، تحيط به قشرةٌ صخرية).

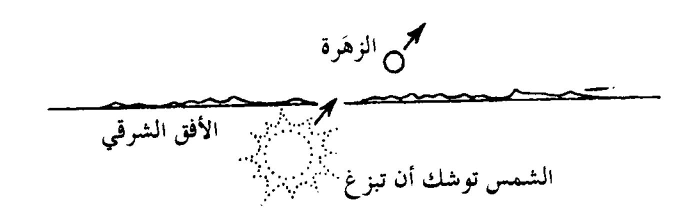
2.9 الزُّهَرة: رصده

سُمِّيَ كوكبُ الزُّهَرة Venus الساطعُ نسبةً إلى آلهة الحب والجمال عند الرومان. وفي الليل يفوق سطوعُه سطوعَ سائر نجوم السماء. وهو على درجة من الوضوح الصارخ بحيث يخطئه الناسُ في كثير من الأحيان، فيحسبونه جسماً طائراً مجهول المنشأ UFO = unidentified flying object (الشكلان 3.9 و 4.9).

يطوف الزُّهرة ـ شأنَ عطارد ـ حول الشمس داخل مدار الأرض. ونتيجةً لذلك يبدو كلا الكوكبَيْن دانياً من الشمس، ويسطعان في الجهة



الشكل 3.9 الزُّهَرةُ نجم المساء في السماء الغربيّة بُعَيد غروب الشمس.



الشكل 4.9 الزُّهَرةُ نجمُ الصباح في السماء الشرقية قُبَيل بزوغ الشمس.

الغربية من السماء بُعَيْد غروب الشمس قرب مطالهما الشرقي، ثم يتبعان الشمسَ عبر السماء. وكثيراً ما يُطلَق عليهما عندئذٍ اسم نجمَي المساء evening stars.

وهما يُسمَّيان نجمَي الصباح morning stars في الجهة الشرقية من السماء قُبَيْل بزوغ الشمس قرب مطالهما الغربي، ثم يسبقان الشمسَ عبر السماء.

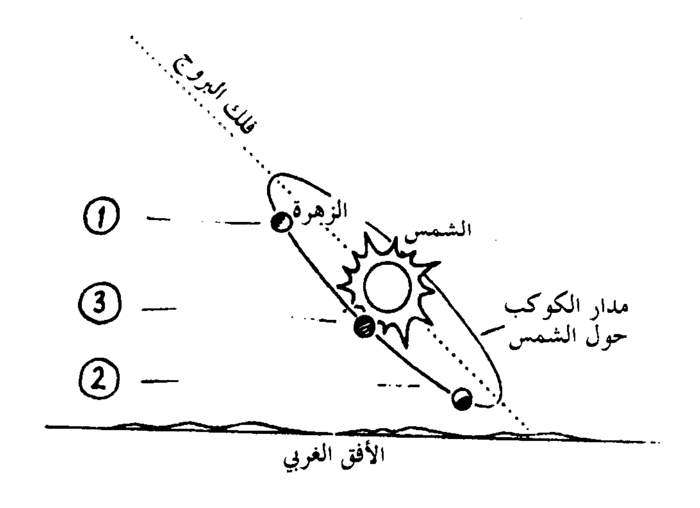
يُذكَر أن للزُّهرة وعطارد دورةَ أطوار cycle of phases (الشكل 7.8) يمكنك رصدها باستعمال مقراب صغير. يلاحَظ أيضاً أن الزُّهَرة يدور من الشرق إلى الغرب، أي إنه يتحرك تراجعياً retrograde.

يمرُّ كوكبا الزُّهرة وعطارد عادةً من فوق الشمس ومن تحتها عند نقاط اقتران. ويحدث أن عطارد يَعْبر transit الشمسَ، أي يمرّ من أمامها مباشرةً

في وضع اقتران. يحدث ذلك لعطارد نحواً من 13 مرةً في مدة قرن، وأقلّ من ذلك بكثير للزُّهرة. وعند حدوث هذه الظاهرة يعاين الراصدون نقطةً صغيرةً تتحرك عابرةً وجهَ الشمس الساطع. وتشير الأرصادُ إلى أن عطارد سيَعْبُر بتاريخ 7 أيار (مايو) سنة 2003 و 8 تشرين الثاني (نوفمبر) سنة 2006، وأن الزُّهرة سيَعْبُر بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة 2004 و 5 حزيران (يونيو) سنة 2012.

يكون الزُّهرةُ في وضعِ اقترانٍ سفلي كلَّ 584 يوماً، ثم يقترب من الأرض حتى يصير على بُعد نحو 40 مليون كيلومتر (25 مليون ميل) عنها، أي أقرب إلى الأرض من أي كوكب آخر.

استعِنْ بالشكل 5.9 في تعيين موقع كوكب الزُّهرة عندما يكون:



الشكل 5.9 كوكب الزُّهَرة في مداره.

(أ) نجمَ مساء ....؟

(ب) نجمَ صباح ....؟

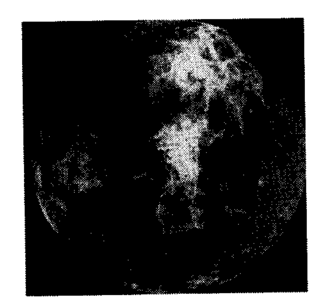
(ج) في وضع اقتران ....

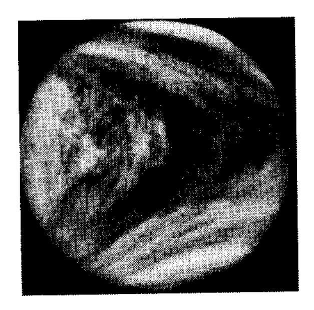
الجواب: (أ) 1؛ (ب) 2؛ (ج) 3.

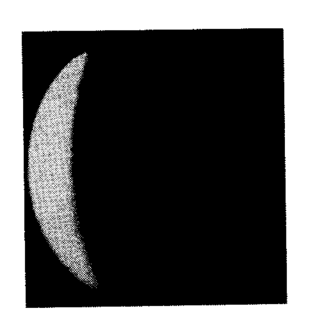
3.9 الزُّهَرة: الكوكب

يضيء كوكب الزُّهرة بسطوعٍ شديد بسبب السُّحُب الكثيفة الدائمة التي تلفُّه فتعكس فيضاً من ضوء الشمس، وتحول دون رؤية سطحه.

وقد أنجزت مركباتٌ فضائيةٌ ربوطيَّة، أمريكيةٌ وروسية، زادت عِدَّتها على العشرين، مهمّات علميةً ناجحةً للكوكب، وبثَّت إلى الأرض معطيات نفيسةً لتحليلها ومعالجة الصُّوَر. من أوائل المركبات التي أُرسلت باتجاه الزُّهرة: مارينر 2/ محاذاة ـ سنة 1962، وڤينيرا 3/ صدم ـ سنة 1965، وڤينيرا 7/ حَطٌّ رفيق ـ سنة 1970، وڤينيرا 9/ مدار ـ سنة 1975 (الشكل 6.9).







الشكل 6.9 الزُّهرة كما يُرى بواسطة (أ) مقراب أرضي. (ب) المركبة الأمريكية الرائدة الطوّافة حول الزهرة، المسماة بيونير ڤينوس أوربيتر. (ج) خريطة حاسوبية من معطيات مَرْكبة ماجلان للتصوير الراداريّ وقياس الارتفاعات.

يتركَّب نحو 97 في المئة من الغلاف الجوّي لكوكب الزُّهرة من ثنائي أكسيد الكربون و 1 ـ 3 في المئة من الآزوت، إضافةً إلى آثارٍ من بخار الماء والهليوم والنيون والآرغون ومركَّبات الكبريت، والأكسجين. وهو يدور

بحركات كروية واسعة. وتبلغ درجةُ الحرارة عند ذُرى سُحُبِه زهاء 250 كلڤن (-9 فارنهايتية). وتقع الطبقاتُ السَّحابيّةُ التي يناهز سُمكُها (جملةً) 19 كيلومتراً (12 ميلاً) على ارتفاعٍ يقارب 50 ـ 70 كيلومتراً (40 ميلاً) فوق سطحه. وتبدو السُّحُبُ بلون أصفَر بتأثير حمض الكبريت الأكّال.

التُقطت أولُ الصُّوَر لسطح الكوكب سنة 1975 بواسطة مَرْكبات ڤينيرا الفضائية التي حَطَّتْ عليه Venera landers. ويلاحَظ أن الصخورَ والتربة تبدو برتقاليةَ اللون تحت السُّحُب الغليظة؛ أما من الأرض فتبدو رماديةً في ضوء الشمس المباشر. وقد وَجَدَت المركباتُ الفضائية على سطح الكوكب بيئةً كالحةً لامضيافة، ثم ما لبثت أن تحطَّمتْ في غضون ساعتين فقط، بسبب الأحوال الجوّية الجهنّمية هناك (الشكل 7.9)[1].



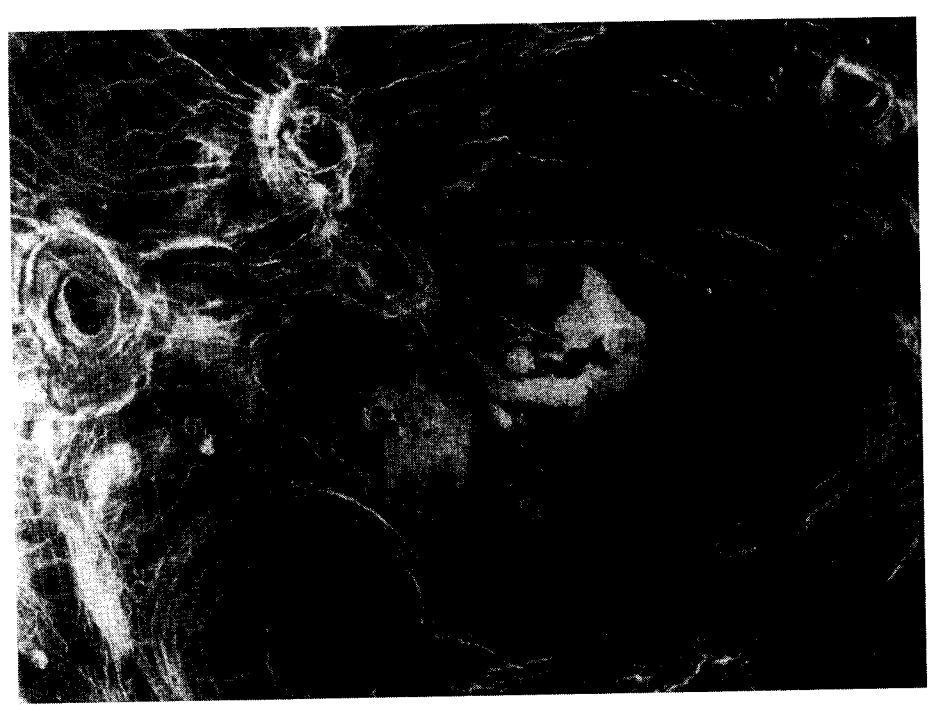
الشكل 7.9 من الصُّوَر الأولى لسطح الزُّهَرة، التقطتها المركبةُ الفضائية ڤينيرا القصيرة الأجل.

تصل درجاتُ الحرارة السطحية 755 كلڤن (482° مئوية أو 900° فارنهايتية)، ذلك لأن ثنائي أكسيد الكربون وبخار الماء في السُّحُب يسمحان بدخول الضوء المرئي الوارد من الشمس، لكنهما لا يسمحان بخروج

(1) فدرجة الحرارة هي من الشدّة بحيث تذيب الرصاص المستعمَل في صناعة أجهزتها الإلكترونية. انظر ص 205 من كتاب: Explorations: an Introduction to Astronomy by Thomas T. Arny, Mosby, 1994: (المعرِّب)

الحرارة تحت الحمراء التي يطلقها السطحُ الصخري المتَّقد. تسمّى هذه الظاهرةُ مفعولَ الدفيئة greenhouse effect، ومن شأنها أن تجعل الزُّهرة أشدَّ حرارة [نتيجةً لهذا الانحباس الحراري]. ويزيد الضغطُ الجوّيُّ على الكوكب 90 ضعفاً على الضغط الجوّي الأرضي (أي بأكثر من 90 واحدة ضغط، أو 1330 رطلاً إنكليزياً لكل بوصة مربعة)، مع وجود صواعق برقٍ ورعدٍ كثيرة.

ولمسح سطح الزُّهرة يُطلِق العلماءُ إشاراتٍ رادارية من الأرض أو من مركبةٍ ربوطيةٍ تطوف حول الزُّهرة، ويحلِّلون الرَّجْع. وقد وُجِدَ أن أفضل مردود من معطيات التصوير الراداري جاء من المركبة الأمريكية ماجلاّن التي طافت حول الكوكب ما بين سنتي 1989 و 1994، ومَسَحَت 99 في المئة من سطحه (الشكلان 8.9 و 9.9)، واختبرت باطنَه وغلافَه الجوّي.



الشكل 8.9 العنكبوتيات arachnoids التي ينفرد بها كوكب الزُّهَرة، يقع قطرُها بين 50 و 230 كيلومتراً تقريباً، على سهوله.



الشكل 9.9 مشهد لمنطقةِ غرب آيستْلا ريجيو مستنبَط من معطياتِ مَرْكبة ماجلان للتصوير الراداري وقياس الارتفاعات. يمتد الفالقُ الخَسْفي، الذي يظهر في أماميَّة الصورة، إلى قاعدة بركان غولا مونْز Gula Mons الذي يبلغ ارتفاعه 3 كم (إلى اليمين). لاحظْ أيضاً بركان سِيف مونْز Sif Mons الذي يبلغ امتداده 300 كم وارتفاعه 2 كم إلى اليسار.

تُظهِر الصُّور الرادارية سطحاً صخرياً جافّاً، ما يقارب 80 في المئة منه سهولٌ منبسطةٌ نسبياً تكتنفها الصدوعُ والفوَّهاتُ الناجمةُ عن الصَّدم، إضافةً إلى البراكين التي تقع على عمق كيلومتر واحد من السطح الوسطي للكوكب. ويبلغ الفرق بين أخفض الارتفاعات وأعلاها 15 كيلومتراً (9 أميال).

هذا وقد دَرَجَ الاتحادُ الفلكيُّ الدّولي International Astronomical Union على إعطاء اسمَيْن لكلِّ مَظهر من مظاهر سطح أجرام المنظومة الشمسية؛ أحدهما وصفيٌّ يُستعمل للمظاهر الجغرافية السائدة على كلِّ الأجرام، والآخر للتعريف. وفي حالة الزُّهرة تُنسَب أسماء المعالم التضاريسية إلى آلهة الحب أو إلى نساء خالدات رَحَلْنَ عن دنيانا منذ ثلاث سنوات على الأقل، لا

يُستثنى من ذلك إلا جبل ماكسويل مونت Maxwell Montes (أكبر جبال الزُّهرة) فهو يُنسَب إلى الفيزيائي الاسكتلندي جيمز كلارك ماكسويل James Clerk Maxwel (1831 ـ 1879) الذي مَهَّدت نظرياتُه في الكهرطيسية الطريقَ لاختراع الرادار.

تبدو الفوّهاتُ الناجمة عن الصدم على كوكب الزُّهرة مختلفةً عنها في عوالم أخرى. وما يحدث هنا هو أن كتلاً صخريةً آتية من الفضاء تحترق في خضمّ الجوّ الكثيف. تهوي كتلُ صَدْمٍ ضخمةٌ على الزهرة بسرعة تقارب 20 كم/ثا (12 ميل/ثا)، محرِّرةً كميةً هائلةً من الطاقة تكفي لتبخير الجسم المتردّي وما حوله من سطح. تُلْفَظ المقذوفات ejecta ـ التي هي مواد سطحية ـ وتبقى مصهورةً بسبب الحرارة السطحية العالية جداً، وتتدفَّق من الفوَّهة بأشكال ذات مَظهر يشبه بتلات الأزهار.

ترتفع النجودُ highlands كقارّاتٍ فوق السهول الجافّة. وأكبرُ نجود الزُّهرة نَجْدُ أفروديات Terra Aphrodite الذي تبلغ مساحتُه زهاء نصف مساحة أفريقيا. ثمَّ نَجْدٌ أصغرُ يسمّى نَجْدَ عشتار Ishtar Terra، وهو بمساحة الولايات المتحدة القارّية. وترتفع هنا ماكسويل مونت ـ وهي كتلةٌ جبلية ـ إلى نحو 11 كيلومتراً (7 أميال) فوق متوسط نصف القطر. يلاحَظ أيضاً وجود مناطق تكثر فيها الصدوع.

تلاحَظ كذلك معالمُ بركانيةٌ غريبةٌ منثورةٌ في أرجاء السهول، منها:

1 ـ البراكين البازلتية shield volcanoes، وهي قِبابٌ مسطَّحةٌ صغيرة بقطر 2 ـ 3 كم (1 ـ 2 ميل) وارتفاع بضعة مئات الأمتار، وُجدت بفعل دفقات حممٍ بركانية ضعيفة تراكمت فكوَّنت جبلاً بركانياً عريضاً.

2 ـ القباب القرصيَّة المسطَّحة pancake domes، التي يبلغ عرضُها عادةً 25 كيلومتراً (15 ميلاً) ولا يزيد ارتفاعُها على ميلٍ واحد، وهي مرتبطةٌ

بصُهارةٍ magma غليظةٍ لزجة تتجاوز في تركيبها المحتوى المعتاد من السيليكا (ثنائي أكسيد السيليكون).

3 ـ الأكاليل البركانية coronae، وهي حلقاتٌ مستديرة الشكل ذات طيّات ضئيلة البروز، يترجَّح أنها تكوَّنت من دفقات حمميَّة تراكمت إلى شكلٍ قبّي، غاصَ فيما بعدُ وارتصّ. ويُعتَقَد أن بعض البراكين مازال نشطاً.

الزُّهَرة أكثر الكواكب شبهاً بالأرض من حيث حجمه وكتلته وكثافته وبُعده عن الشمس؛ غير أنك لا تستطيع العيش هناك. اذكر ثلاثة أسبابٍ لذلك.

(1) ....

(2) ....

(3) ....

الجواب: (1) لحرارته الشديدة: 482° مئوية (900° فارنهايتية)؛ (2) لجوّه المؤلَّف من ثنائي أكسيد الكربون السامّ؛ (3) لارتفاع ضغطه الجوّي ارتفاعاً ماحقاً: أعلى من الضغط الجوّي الأرضي بأكثر من 90 ضعفاً.

4.9 الأرض

يضيء كوكبُنا الأرضُ Earth كدرّة نفيسة نادرة زرقاء وبيضاء تسبح في الفضاء (الشكل 10.9). وهو ـ بترتيبه الثالث من حيث بُعده عن الشمس ـ أهم الكواكب على الإطلاق بالنسبة إلينا نحن البشر.

يقارب إجماليُّ المساحة السطحية لكوكبنا $5,10 \times 10^8$ كم^2 (أي ما يعادل مليون ميل2)، تغطي المياه أكثر من 70 في المئة منها في ظاهرة فريدة من نوعها في المنظومة الشمسية.

يصل ارتفاع أعلى جبلٍ على الأرض ـ وهي قمة إِفْرِسْت Mt. Everest



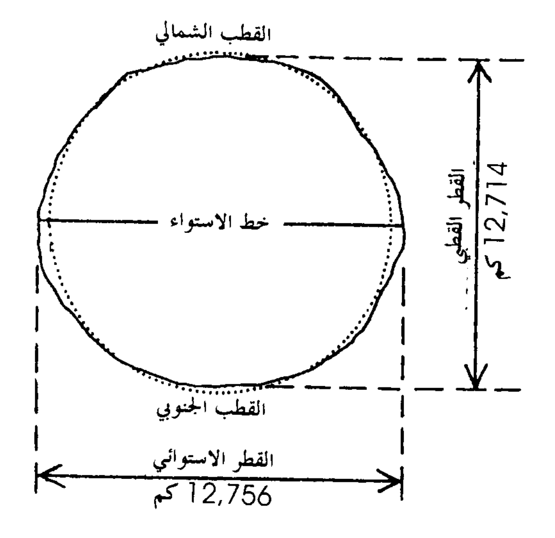
الشكل 9.10 الأرض كما رصدها من القمر روّادُ مركبة أبولو الفضائية.

في آسيا ـ قرابة 9 كم (29،000 قدم) فوق مستوى سطح البحر؛ أما أعمق نقطة مقيسة تحت الماء فهي غَوْر ماريانا Marianas Trench، الذي يهبط ما يربو على 11 كم (36،000 قدم) تحت سطح المحيط الهادئ.

تبلغ كتلةُ الأرض زهاء 6×10^{24} كغ، وهي توفِّر الثقالة السطحية اللازمة التي ألفناها.

انظر في الشكل 9.11 واحسب الفرق بالكيلومترات كم يزيد طولُ خط استواء الأرض على البُعد بين قطبَيْها الشمالي والجنوبي؟ ....

الجواب: 43 كيلومتراً تقريباً.



الشكل 11.9 ولَّدَ دورانُ الأرضِ اليوميُّ حول محورها انتفاخاً استوائياً وتسطُّحاً قطبياً (رُسِمَ بشيء من الغلواء رغبةً في التوضيح).

طريقة الحل:

طول القطر الاستوائي - طول القطر القطبي = 12،756,34 كم - 12،713,80 كم = 42,54 كم.

5.9 بنْية الأرض

يقدِّر علماءُ الفلك أن الأرض قد وُلِدت منذ نحو 4,6 مليارات سنة خلت، وأنها تكوَّنت مع الكواكب الأخرى من سحابة الغاز والغبار ذاتها التي كوَّنَت الشمس (الفقرة 3.4).

ولما كان من المتعذِّر على علماء الجيولوجيا النفاذ إلى أعماق الأرض لدراستها مباشرةً، فهم يقرِّرون بِنيتَها وتركيبَها من طريق آلية انتقال الأمواج الزلزالية الناشئة عن الزلازل والانفجارات عبر طبقاتها وعلى امتداد سطحها. وهم يصوِّرون الأرضَ اليومَ مؤلَّفةً من ثلاث طبقات:

1) القشرة crust، وهي الطبقةُ الخارجيةُ الرقيقة الصُّلبة التي يبلغ متوسط سُمكها 35 كم (22 ميلاً)، وهي أغلظ حيث توجد القارّات منها تحت المحيطات. تتركَّب القشرةُ في المقام الأول من صخورٍ خفيفة، كالغرانيت والبازلت.

2) المعطف (الغلاف) mantle، وهو الطبقة الواقعة تحت القشرة، وتمتد نحو الداخل زهاء 2880 كيلومتراً (1800 ميل). ويشير التحليلُ المعمليُّ لعيّناتٍ بركانية إلى أن المعطفَ الغليظ مؤلَّفٌ في معظمه من صخور سيليكاتية كثيفة تشبه في سلوكها إلى حدٍّ ما سلوكَ «سكاكر الكاراميل». فهي مَرِنةٌ مطواعةٌ تحت تأثير الضغط المطَّرد، لكنها صَدوعةٌ تحت تأثير الصَّدم.

3) اللُّبّ core، وهو الطبقةُ المركزية، وتبلغ ثخانتُها 3470 كيلومتراً (2170 ميلاً). وهنا توجد طبقةٌ خارجيةٌ معدنية مصهورة بسُمك 2100 كيلومتر (1300 ميل) يُحتَمل أنها تحدق بمركزٍ صلب. يتألف اللُّبُّ على الأرجح من حديدٍ عالي الكثافة ونيكل عند درجة حرارةٍ تقارب 6400 كلفن.

بالاستعانة بالشكل 12.9، عيِّن الطبقات الثلاث الرئيسية للأرض واذكر السُّمك التقريبيَّ لكلٍّ منها.

(1) ....

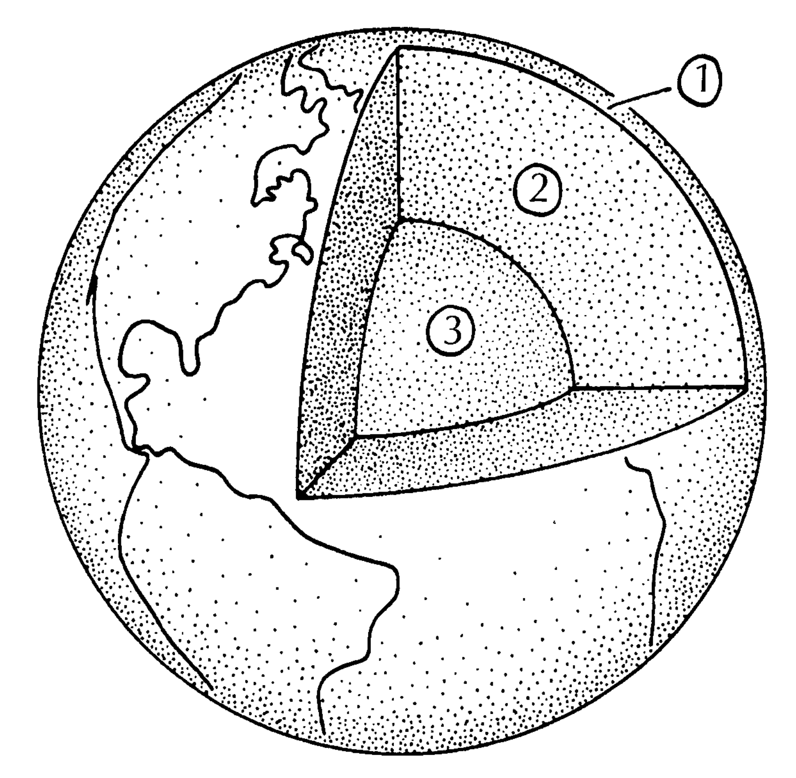
(2) ....

(3) ....

الجواب: (1) القشرة: 35 كم (22 ميلاً) في المتوسط؛ (2) المعطف: نحو 2880 كم (1800 ميل)؛ (3) اللبّ: نحو 3470 كم (2170 ميلاً).

6.9 نشاط الأرض الجيولوجيّ

إن سطح كوكبنا الأرضي المتقلقل دائب التغيُّر بسببٍ من عوامل الحتّ



الشكل 12.9 بِنية الأرض، بطبقاتها الثلاث الرئيسية.

والفاعلية الجيولوجية؛ فقد عُرِف أن أقدم الصخور المكتَشَفة حتى الآن وسط البحيرات وسهوب التَّندرا[1] tundra النائية الواقعة في شمال غرب كندا، وهي صخورٌ مغرقةٌ في القِدم، ترقى إلى نحو 3,96 مليارات سنة خلت.

وتشير الأدلّةُ القاطعة على أن قارّات العالَم كلَّها كانت - منذ زهاء 200 مليون سنة - قارّةً وحيدةً عظيمةً أُطلق عليها اسم بانجيا Pangaea [ومعناها الحرفي: الأرض المتَّصلة]، ثم انفصلت فيما بعدُ إلى القارّات المعروفة لنا اليوم.

وطبقاً لنظرية تكتونيات الصفائح أو الألواح plate tectonics (التي تسمى

(1) أصقاع منبسطة جرداء في المناطق القطبية الشمالية وما جاورها. (المعرِّب)

أيضاً نظرية الانجراف القارّي (continental drift theory)، فإنَّ القارّات وقيعانَ المحيطات راسيةٌ في صفائح أو ألواحٍ صخريَّة بقطر آلاف الأميال. تتحرك هذه الألواحُ ببطء على المعطف المطواع من تحتها، فيتبدَّل شكلُ قشرة الأرض عند حدود نهايات الألواح. وبتباعد الألواح تنفصل القارّاتُ ببطء تبعاً لذلك بمعدَّلٍ لا يزيد على 2,5 سم (إنش واحد) سنوياً. يتعاظم هذا المقدار الضئيل ليبلغ 5000 كم (3000 ميل) أو يزيد في غضون 200 مليون سنة.

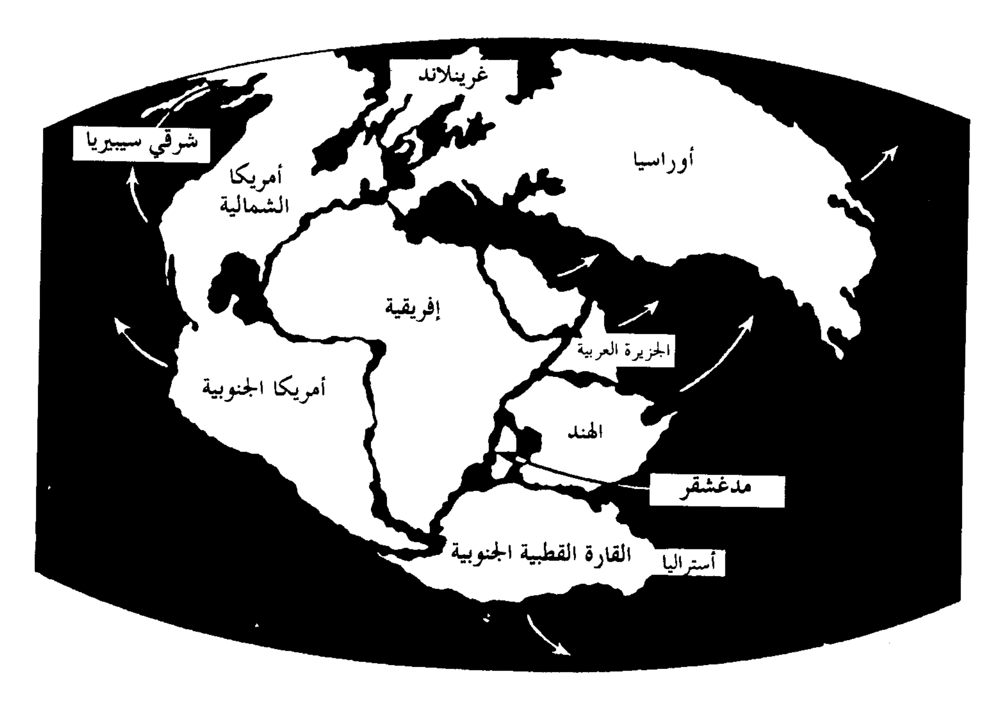
يترتَّب على حركة الصفائح كذلك تكوُّنُ الجبال وحدوثُ الزلازل ونشاطُ البراكين. ويحدث ذلك عند الحدود في ما بين الصفائح المتحركة، حيث تتضاغط الصفائح بعنف.

ترى إحدى النظرياتُ الشائعة أن تيارات الحَمْل convection currents[1] تغذّي الانجرافَ القارّي، إذ تتدفَّق تياراتٌ من الصُّهارة نحو الأعلى عبر طبقة المعطف، إلى أن تمرَّ بصخور باردة صُلبة، فتتدفَّق أفقياً. يخلخِل الاحتكاكُ ثباتَ الألواح الحاملة للقارّة ويزيحها. وأخيراً تغوص الصُّهارة المتبرِّدة. وعلى امتداد حيود وسط المحيط midocean ridges تنسكب الصُّهارةُ من خلال القشرة انسكاباً متواصلاً، مولِّدةً صخوراً جديدة.

ثمة من الأدلّة ما يقطع بأن القارّات في انزياحٍ مستمر. ويستعين العلماءُ في قياس هذا الانزياح بأجهزة المدى الليزري laser-ranging devices التي تُرَجِّع نبضات من الضوء عن مقاريب عاكسة رُكزت على سطح القمر. وقد وُجِد فعلاً توافقٌ كبيرٌ في الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا، وتماثلٌ في المستحاثات النباتية والحيوانية على امتداد الساحلَيْن، مع أنهما اليوم متباعدان جداً بمسافةٍ تُقَدَّر بـ 5000 كم (3000 ميل) من المحيط الأطلسي (الشكل 13.9).

---

(1) حركات كبيرة تحدث في معطف الأرض، أو فيما تحت القشرة الأرضية نتيجة لاختلاف في درجات الحرارة. (المعرِّب)



الشكل 9 .13 خريطة للأرض كما قد تبدو منذ نحو 200 مليون سنة.

وقد قيست أعمارُ صخورٍ من قاع المحيط الأطلسي، فوُجد أن عُمر أقدمها يناهز 150 مليون سنة، وتتوضَّع قرب خطوط السواحل القارّية.

لو أن صخوراً بعُمر 4 مليارات سنة اكتُشِفَت في قاع المحيط الأطلسي، فهل كان ذلك يؤثِّر في صحة نظرية الانجراف القارّي؟ وكيف؟ ....

....

....

....

....

الجواب: كان من شأن ذلك أن يثير شكوكاً خطيرةً تمسُّ صحَّة النظرية، التي

تقول إن المحيط الأطلسي - الذي يبلغ عرضُه زهاء 5000 كم (3000 ميل) ما بين الخطوط الساحلية القارّية - قد تكوَّن على مدى الـ 200 مليون سنة الفائتة، ولم يكن قد وُجد منذ 4 مليارات سنة.

7.9 مغنطيسية الأرض

إن لكوكبنا حقلاً مغنطيسياً magnetic field، أي منطقةً من القوى المغنطيسية تؤثِّر في إبرة البوصلة.

يقع القطبُ المغنطيسيُّ الشمالي قريباً من خط العرض 76° شمالاً وخط الطول 101° غرباً في شمال شرق كندا. ويمتد زهاء 1300 كم (800 ميل) بدءاً من القطب الشمالي الجغرافي، ويتغيَّر موقعُه ببطء مع مرور الزمن. ويقع القطبُ المغنطيسيُّ الجنوبي قريباً من خط العرض 66° جنوباً وخط الطول 140° شرقاً. ويُعتقَد أن الحقلَ المغنطيسي للأرض قد تولَّد بفعل لبِّها السائل المكوَّن من الحديد والنيكل، الذي يؤدي دَوْر «دينامو» عملاق في أثناء دوران الكوكب حول محوره. ولعلَّ الحركةَ المعقَّدة لهذا اللُّب هي التي تسبِّب الهجرةَ الطويلةَ الأمد للقطبَيْن المغنطيسيَّين.

تمتد الكرة المغنطيسية magnetosphere - وهي المنطقةُ المحيطةُ بالكوكب حيث يكون الحقلُ المغنطيسي مؤثراً - في فضاء الكون ما يعادل أربعة أضعاف نصف قطر الأرض من الطرف المقابل للشمس. أما الذَّيل المغنطيسي magnetotail - وهو جزءُ الكرة المغنطيسية الواقعُ على الطرف البعيد من الشمس - فيمتد أشبه بذيلٍ يقع طولُه بين 10 و 1000 مرة نصف قطر الأرض.

يَحتجز الحقلُ المغنطيسيُّ الأرضي كثيراً من الجُسَيْمات المشحونة النَّشطة الناشئة عن الريح الشمسية. وهذه الجسيمات قد تكون ضارَّةً جداً، فتظلُّ في حركة دائرية سريعة ضمن منطقتين حلقيَّتي الشكل تسمَّيان حُزُمَ فان

آلن Van Allen belts في الكرة المغنطيسية.

ما هي الكرة المغنطيسية؟ ....

....

الجواب: هي المنطقةُ المحيطةُ بالأرض حيث يكون الحقلُ المغنطيسيُّ ذا تأثير.

8.9 الغلاف الجويّ الأرضي

يحيط بالأرض غلافٌ جوّي atmosphere يمتد عدة مئات الأميال في الفضاء.

من المرجَّح أن جوَّ الأرضِ الأولَ، الذي سادَ منذ أكثر من أربعة مليارات سنة، يختلف كثيراً عن جوِّها اليوم. إذ يُعتقَد أن غازات سامَّةً من مركَّبات الهيدروجين والكربون والأكسجين والآزوت - كثنائي أكسيد الكربون والنشادر والميتان إضافةً إلى بخار الماء - ربما تكون قد انتُزِعتْ outgassed أو تحرَّرتْ من باطن الكوكب الفتيّ الحارّ.

فثنائي أكسيد الكربون السريع الانحلال في الماء يمكن أن يكون قد انتُزِع عن طريق اتِّحاده بموادَّ كالكالسيوم في المحيط لتكوين حجر الجير limestone؛ والأكسجين الحرّ الذي نحتاج إليه للتنفّس ربّما أنه تولَّد بفعل النباتات الخضر. ومن المعلوم أن الأوراق الخُضر في عملية التخليق الضوئي photosynthesis تَمتصُّ ثنائي أكسيد الكربون من الجو، وتستفيد منه لنموِّها، مُطْلِقةً الأكسجين.

يتركَّب الهواءُ اليومَ من نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة من الآرغون وثنائي أكسيد الكربون وغازات أخرى. ويحتوي كذلك على مقادير متغيِّرة من بخار الماء والغبار وأول أكسيد الكربون والنواتج الكيميائية الصناعية والكائنات الدقيقة.

يحتشد أكثر من نصف هذا الهواء ضمن حيِّز الـ 6 كيلومترات (4 أميال) الأولى فوق سطح الأرض. ثم يتخلخل بسرعة مع ازدياد الارتفاع، حتى إذا بلغ الارتفاعُ 12 ـ 50 كيلومتراً (7 ـ 30 ميلاً) فوق سطح البحر، أثَّر ضياءُ الشمس فوق البنفسجي في الهواء فتولَّد الأوزون ozone، وهو جزيءٌ مؤلَّفٌ من ثلاث ذرات من الأكسجين (O3). يؤلِّف الأوزون في الجو طبقةً تكتنف الأرضَ هي بمنْزلة غطاء حيويٍّ يقي الكائنات البشريةَ والنباتيةَ من إشعاع الشمس فوق البنفسجي الضارّ[1]. أما على ارتفاعاتٍ تتجاوز 160 كم (100 ميل) فيمكن أن تدور السواتل بحرِّية دون خشية الانجذاب نحو الأسفل.

ويستعمل الباحثون حالياً نماذجَ محاكاة كومبيوترية وأجهزةً معقَّدةً على الأرض، وعلى متن الطائرات ومركبات الفضاء، بغية دراسة التغيُّرات الخطيرة المحتملة في الغلاف الجوي وفي المناخ، التي يكون الإنسان سبباً فيها. وفي حكم المؤكَّد أنَّ المستويات المرتفعةَ من المواد الكربونية المتلِفة للأوزون، والمتحرِّرة من أجهزة التبريد والتكييف ومِرَذَّاتِ الهباء المعلَّق aerosol sprays تسبِّب الثقوبَ الواسعة التي نشهدها في طبقة الأوزون فوق المناطق القطبية بخاصة، وتخلخُل هذه الطبقة فوق خطوط العرض المتوسطة. ومن المهم أن نعلم أن التراكمَ المتزايدَ لثنائي أكسيد الكربون، وللشوائب المنطلقة من احتراق الفحم والنفط، إضافةً إلى تلاشي الغابات المَطَرِيَّة، كلُّ ذلك قد يُحدِث تسخيناً شاملاً في كوكبنا شبيهاً بمفعول الدفيئة على كوكب الزُّهَرة.

---

(1) تذكَّرْ أن الإشعاعَ فوق البنفسجي أكثرُ فاعليةً وأعلى طاقةً من الضوء المرئي بسبب قصر أطوال أمواجه. وتتمثل أهمية الأوزون في أنه ماصٌّ قويٌّ للإشعاع فوق البنفسجي، ولو انعدمت طبقة الأوزون لانسكبَ الإشعاعُ الشمسيُّ انسكاباً في الغلاف الجوّي السفلي وألحقَ أذىً مستطيراً بالكثير من أنماط الحياة على الأرض؛ بل إن ثمة شكّاً في إمكان قيام حياة على سطح الأرض في غياب الوقاية التي توفِّرها طبقةُ الأوزون هذه. ولهذا السبب تتضافر جهود الحكومات في العالم اليوم للحدّ من استعمال المواد الكيميائية التي تمتزج بالغلاف الجوّي العلوي، وتتَّحد كيميائياً بطبقة الأوزون فتتلفها. (المعرِّب)

يبلغ إجماليُّ كتلة الغلاف الجوّي الأرضي برمَّته نحواً من 5000 تريليون طن. وتعمل الثقالةُ على الإبقاء عليه مرتبطاً بالأرض، مع أن ذرّات منه قد تتسرَّب من طبقاته العليا بين حين وآخر. وعند مستوى سطح البحر يَضغط كلُّ ذلك الهواء إلى الأسفل بقوة تساوي 1,03 كغ/سم^2 (14,7 رطلاً إنكليزياً في البوصة المربَّعة) تسمى واحدة ضغط جوّي atmosphere of pressure. وثمة واحدةُ ضغط جوّيٍّ أخرى شائعةٌ تسمّى الملّيبار millibar. وقد وُجد أن ضغطَ الهواء على الأرض عند مستوى سطح البحر يقارب 1013 ملّيبار.

ما تركيب الهواء الذي يُبقي على استمرار حياتنا على الأرض (أ)؟ وكم يبلغ ضغطُه عند مستوى سطح البحر (ب)؟ (أ) ....؛ (ب) ....

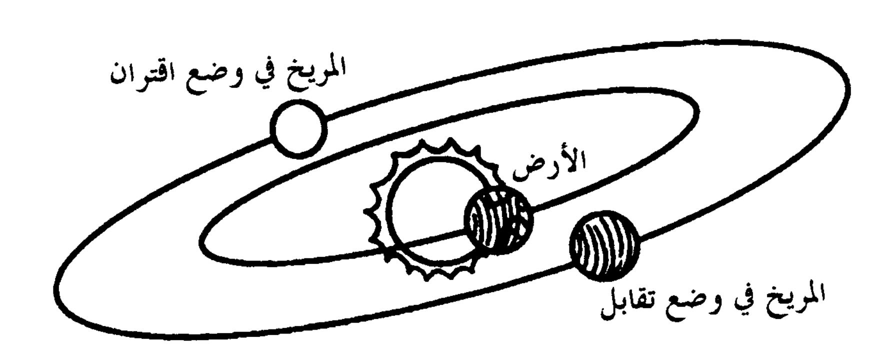
الجواب: (أ) نحو 78 في المئة آزوت و 21 في المئة أكسجين و 1 في المئة ثنائي أكسيد الكربون وغازات أخرى، إضافةً إلى مقادير متغيِّرة من بخار الماء والشوائب؛ (ب) زهاء 1,03 كغ/سم2 (14,7 رطلاً إنكليزياً/ إنش مربع). يسمى أيضاً واحدة الضغط الجوّي، و 1013 ملّيبار.

9.9 المرّيخ: رصده

كان كوكبُ المرّيخ Mars الضارب لونه إلى الحمرة يذكِّر الرومانَ دوماً بالدَّم والنار، فأطلقوا عليه اسم «مارس» نسبةً إلى إله الحرب عندهم. ولهذا الكوكب قمران يحملان اسمَيْن موحِيَيْن هما فوبوس Phobos («الخوف») وديموس Deimos («الفزع»)، لا يُرَيان إلا باستعمال مقاريب قويَّة جداً.

تبدو الكواكبُ العُلوية ـ والمرّيخُ أحدُها ـ أسطعَ ما تكون عندما تقع على الجانب المقابل للأرض من الشمس، وهو ما يُسمّى وضع التقابُل opposition. ثم يقابلنا قرصٌ تام الضوء رصين. يكون المرّيخ في وضع التقابل كلَّ 780 يوماً في المتوسط.

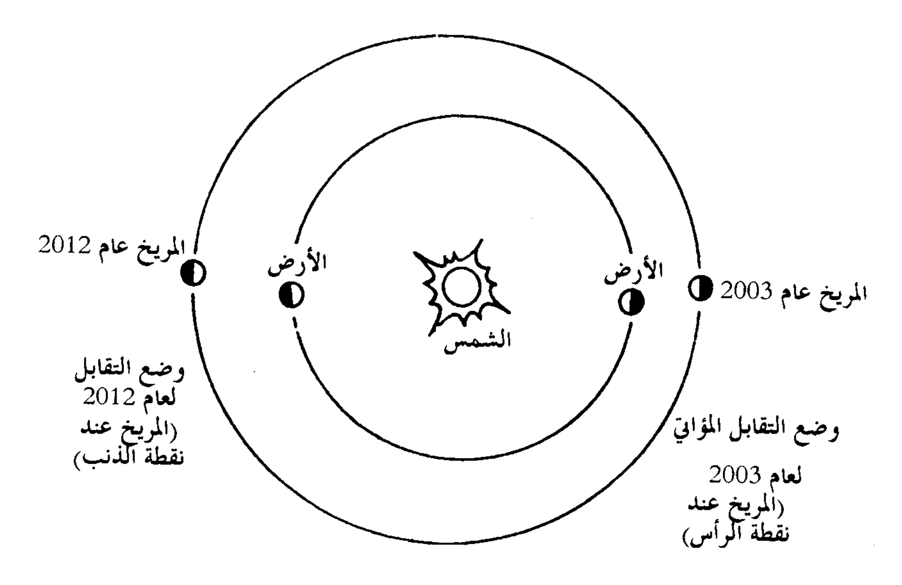
من جهة أخرى، تستعصي الكواكبُ العُلوية على الرصد عندما تقع على الجانب المقابل للشمس من الأرض، وهو ما يسمّى وضع الاقتران conjunction (الشكل 9 . 14).



الشكل 9 . 14 مظهران مهمّان للمرّيخ من الأرض.

يكون المرّيخُ أقربَ إلى الأرض في بعض حالات التقابُل، منه إليها في بعض حالات التقابُل الأخرى، ذلك بسببٍ من شذوذ مداره (الجدول 8 . 1). يُسمّى وضعُ التقابُل الداني التقابُلَ المؤاتي favorable opposition، حيث يبدو قرصُ المرّيخ أكبر ورصدُه أجود، مع العلم بأن معظم أوضاع التقابل المؤاتي تحدث عندما يقترب الكوكب من نقطة الرأس (الشكل 9 . 15). عندئذ يكون المرّيخ على بُعد من الأرض لا يتعدّى 56 مليون كم (35 مليون ميل)، ويحدث ذلك في نهاية الصيف على فواصل زمنية من 15 إلى 17 سنة.

وعندما يقع المريخُ قريباً من وضع تقابلٍ مؤاتٍ، تستطيع ـ باستعمال مقراب ـ أن تعاين معالمَ بديعةً طالما داعبتْ خيالك. ففي كلٍّ من نصفَي الكرة ترى قلنسوةً قطبيّةً polar cap بيضاء تتقلّص مساحتُها في الصيف. وقد ترى أيضاً عواصف غبارية، ومساحات دكناء اعتُقِد فيما مضى ـ خطأً ـ أنها



الشكل 15.9 وضع تقابُلٍ مؤاتٍ، وآخر غير مؤاتٍ في الدورة المرّيخية.

ماء أو حياةٌ نباتية. ولعلَّها في الحقيقة مشاهد لأجزاء من سطح الكوكب عقب حدوث عواصف غبارية (الشكل 16.9).

في سنة 1877 رَصَدَ عالِمُ الفلكِ الإيطاليُّ جوفاني شياباريلي G. V. Schiaparelli ما ظَنَّ أنها قنواتٌ مستقيمة دكناء على سطح المرّيخ أَطلق عليها اسم «كنالي» canali. وقد تُرجِمتْ هذه الكلمة خطأً على أنها «قنوات». ثم طلع الفلكيُّ الأمريكيُّ بيرسيڤال لويل Percival Lowell (1855 ـ 1916) في مطلع القرن العشرين ليُحدث لغطاً في الأوساط العلمية، عندما ذهب بعيداً إلى الظن بأن مخلوقات مرّيخيةً ذكيةً هي التي شقَّت القنوات المزعومة. وقد أُطلقتْ مسابرُ علميةٌ أمريكيةٌ وروسيةٌ لاستكشاف المرّيخ (والمريخ أكثر ما سُبِر من الكواكب)، إلا أن أحدَها لم يكشف عن وجود أي قنوات. وأغلب الظن أن «القنوات» ما هي في الواقع إلا سلاسل جبليةٌ أو صخورٌ دكناء كَشَفَتْ عنها العواصفُ الغبارية.

لماذا كان أفضل رصدٍ لكوكب المرّيخ في أوضاع التقابُلِ المؤاتية؟ ......



الشكل 16.9 صُوَرٌ للمرّيخ في وضع تقابلٍ له سنة 1999، التقطها مقرابُ هَبلْ الفضائي. يَظهر الكوكبُ في كل مشهد وقد أتَمَّ رُبع دورته اليومية.

....

الجواب: لوقوع الكوكب أقرب ما يكون عن الأرض عندئذ. (فالمريخ والأرض كلاهما يطوفان في مدارَين إهليلجيَّيْن حول الشمس، ومن ثم يتفاوت البُعد بينهما بدرجة كبيرة).

10.9 سطح المرّيخ

تُعَدُّ مركبةُ الفضاء ڤايكنغ لاندر Viking Lander 1 الأمريكية الرَّبوطية، التي حطَّت على كوكب المرّيخ بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1976، أولَ عهدنا بالمعاينة الفاحصة لسطح كوكب آخر.

لاحت سهولُ الذهب Chryse Planitia، الواقعة بين خط العرض 22,46° شمالاً وخط الطول 48,01° غرباً، بصخورها المبعثرة وترابها الناعم وكثبانها الرملية وهضابها البعيدة. وبعد شهرين حطَّت المركبةُ ڤايكنغ لاندر 2 على سهول الطوبى Utopia Planitia على بُعد 7500 كم (4600 ميل) شمال غرب موقع هبوط سلفها. وتبدو الصخورُ المنقوبةُ هناك شبيهةً بالصخور التي تولِّدها البراكينُ الغازيةُ أو حوادث صدم الأحجار النيزكية بالأرض.

بَثَّت المركبتان ڤايكنغ 1 و 2 ما يزيد على 4500 صورة للسطح المرّيخي، و 3 ملايين تقرير علمي عن أحوال الجوّ فيه، وكذلك معطيات مستمدةً من الاختبارات الكيميائية والأحيائية. وفي سنة 1984 غَدَتْ مركبةُ ڤايكنغ لاندر 1 التاريخية من معروضات أول متحف يقع في عالَمٍ آخر، عندما انتقلت الملكيَّةُ إلى المتحف الجوّي والفضائي الوطني الأمريكي U,S, National Air and Space Museum.

وفي سنة 1997 انضمَّت المركبةُ الأمريكيةُ المستكشِفة للمريخ (باث فايندر) Mars Pathfinder إلى سوجرنر Sojourner التي كانت أوَّلَ مركبة تهبط على كوكب آخر (الشكل 17.9). جالَتْ سوجرنر - بعجلاتها الستّ - مسافة 100 متر (110 ياردات) في أرجاء سهل Ares Vallis (وهو سهلُ فيضانات واسعٌ في المناطق الاستوائية الشمالية من المرّيخ)، لدراسة الصخور والتربة هناك. وفي غضون أربعة أشهر بَثَّت المركبتان الرَّبوطيَّتان أكثر من 17،000 صورة، و 16 تحليلاً كيميائياً للصخور والتربة، و 8,5 ملايين قياس للحرارة والضغط والرّيح.

تبدو التربةُ الحمراءُ الصَّدِئة عند مواقع الهبوط وكأنها صلصال غنيٌّ بالحديد، والصخور تغطّيها غلالةٌ من مادةٍ دقيقة التحبُّب ضاربٍ لونها إلى الحمرة. والظاهر أن عوامل التَّجوية الكيميائية والتعرية قد فعلتْ فعلها في الصخور. ويُعتقد أن الكوكب كان في ماضي الزمان غنيّاً بالمياه الجارية؛ آيةُ



الشكل 17.9 منظر بانورامي تاريخيّ لسطح المرّيخ، تظهر فيه مركبةُ سوجرنر الرَّبوطية ذات العجلات الستّ، وهي أولُ مركبة تحطّ على الكوكب.

ذلك وجود حصىً مكوَّرٍ ورمالٍ غزيرة وجُسَيْمات غبارية. تتركَّب التربةُ الناعمةُ من نحو 45 في المئة أكسيد السيليكون و19 في المئة أكسيد الحديد المتَمَيِّه (الصّدأ). وتتلوَّن السماءُ بلون ورديٍّ نهاراً بفعل الغبار الأحمر العالق في الجو كمزيجٍ من الدخان والضباب. ويتلوَّن الغروب بالأزرق الباهت. وفي حين تصل درجاتُ الحرارة في الصيف إلى −10° مئوية (14° فارنهايتية) كحدٍّ أقصى، تهبط في الشتاء إلى ما دون −123° مئوية (−190° فارنهايتية)، مع ظهور طبقة رقيقة من الجليد. لوحظَ أيضاً أن ضغط الهواء على الكوكب لا يتجاوز 7 أو 8 ملّيبار.

لم يَبْدُ في مواقع هبوط المركبتين ما يشير إلى وجود كائنات حيّة كبيرة، كما لَم يلاحَظ أيُّ ماءٍ جارٍ.

صِفْ باختصار سطحَ المرّيخ في مواقع الهبوط ....

....

....

الجواب: إنه يبدو كصحراء حمراء جافة تتناثر فيها الصخور. سماؤه ورديَّة اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

11.9 المرّيخ: الكوكب

تُظهِر خرائط ثلاثيةُ الأبعاد عاليةُ المَيْز high-resolution، من قياسات تجريها المركبةُ الأمريكية الاستطلاعية الطوّافةُ حول المرّيخ Mars Global Surveyor (MGS) اعتباراً من سنة 1998، كوكباً جافاً ووعراً ومتجهِّماً.

ومع أن النصفَ الجنوبيَّ من الكرة المرّيخية قديمٌ وتغشاه الفوَّهات في معظمه، فإن نصفَها الشماليَّ سهولٌ منبسطةٌ في الأغلب الأعم، وهي أخفضُ مستوىً بعدَّة كيلومترات. وربما كانت هذه الأراضي الشماليةُ المنخفضة في سالف زمانها حوضاً لبحرٍ محيط مَلأَتْه الترسُّبات.

يتَّصف المرّيخ ببراكين عظيمة، ربما مازال بعضُها نَشِطاً. ويُعَدُّ البركانُ المسمّى جبل أولمبوس Olympus Mons أعظمَ براكين المجموعة الشمسية طرّاً؛ فهو يسمق إلى ارتفاعٍ يصل نحواً من 27 كيلومتراً (17 ميلاً)[1] فوق متوسط ارتفاع السطح، ويحتوي على كمية من الحمم البركانية أكبر من جُزُر هاواي الأمريكية.

وتدلُّ معطياتُ الثقالة المستنبطَةُ من تغيُّراتِ مدارات المركبةِ الاستطلاعية MGS، وكذلك ذُرى البراكينِ البالغةُ الارتفاع، على أن سُمْكَ قشرة الكوكب يقارب 50 كم (30 ميلاً)، وأنه لا ينجرف كانجراف القارّات الأرضية. ويترجَّح أن للمرّيخ معطفاً أبرد من معطف الأرض وأغلظ منه.

وتَظهر شرائط خَطيّةٌ linear bands لمادّةٍ عالية المغنطيسيّة في بعض أقدم

---

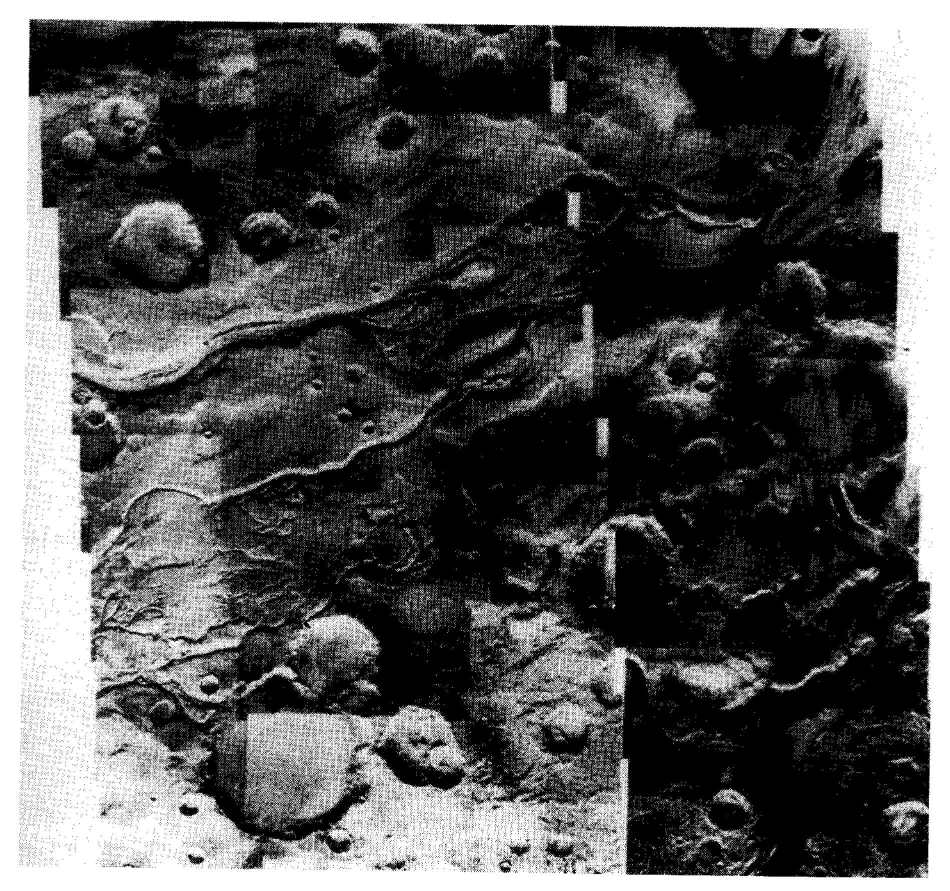
(1) وهو ارتفاع يفوق ارتفاع أعلى قمم الأرض ثلاث مرات تقريباً. (المعرِّب)

أجزاء القشرة. ومن ثمَّ لا بدَّ أن المرّيخ كان في غابر الدهور ذا لبٍّ حديديٍّ مصهور، ونشاطٍ مغنطيسيٍّ وجيولوجيٍّ واضح، مع أن شيئاً من ذلك لا يلاحَظ فيه اليوم.

من مظاهر هذا الكوكب أيضاً صدوعُه العميقة، وأكبرها الصَّدعُ المرِّيخيُّ العظيم Valles Mariner، وهو شبكةٌ معقَّدةٌ من الوديان الصخرية تمتد مسافة 5000 كيلومتر (3000 ميل) على طول خط الاستواء بعمق 6 كيلومترات (4 أميال) في المتوسط. ويَبْرز من المظاهر التضاريسية المتنوِّعة انهيالاتٌ وانفلاقاتٌ وقنوات جريان هائلة عمَّقَتْها عواملُ الحتّ والتعرية.

توحي الفوَّهاتُ والحُفَر السطحيةُ بتعرُّض الكوكب لحوادث صدم عنيف من الأحجار النيزكية. ويلاحَظ أن أخفض نقطة على المريخ - التي تهبط مسافة 7 كم (4 أميال) تحت متوسط مستوى السطح - هي قاعُ حوضِ هيلاس پلانيشيا Hellas Planitia الدائري، أكبرِ فوَّهةِ صدمٍ في المنظومة الشمسية، ويرقى إلى نحو أربعة مليارات سنة خلت. أما أكثر الفوَّهات فتوَّةً نسبياً، من قبيل فوَّهة يوتي Yuty التي يبلغ قطرها 18 كم (11 ميلاً)، فتبدو وكأن مياهاً، مصحوبةً بقطعٍ صخرية متكسِّرة، قد تدفَّقتْ فيها وجَرَتْ مسافات كبيرةً في أعقاب حادثة صدمٍ هائل.

وليس ثمة ما يشير اليوم إلى وجود مياهٍ سطحيةٍ جاريةٍ على المرّيخ. على أن دليلاً غير مباشر يشير إلى حدوث طوفانٍ ماحق في أحقابه الغابرة؛ تدلُّ على ذلك القنواتُ العميقةُ الملتوية الشبيهة بمجاري أنهارٍ ذات روافد (الشكل 18.9)، وهي تدلّل على أن أنهاراً عظيمةً شقَّتْها في الماضي السحيق. وقد تكون تلك المياه محتَبَسةً في القلانس الجليدية ice caps والجَمَد الدائم permafrost تحت السطح. ولعلَّ التغيُّرات المناخيةَ قد أسهمت كثيراً في تحويل بيئة المياه الجارية إلى عالَمٍ بارد هو عالَم المريخ الذي نشهده.



الشكل 18.9 صورةٌ للمرّيخ من مركبة ڤايكنغ الطوَّافة، تُظهِر القنوات العميقةَ الملتوية والفوَّهات على سطح الكوكب.

لكن وجود الماء واضحٌ على هيئة جليد وبخار. فالقلنسوةُ الجليدية الدائمة عند القطب الشمالي مؤلَّفةٌ من ماء متجمِّد، وتُجلِّلها في الشتاء طبقاتٌ من ثنائي أكسيد الكربون الذي يتجمَّد خارجَ حدود الغلاف الجوّي. أما القلنسوةُ الجليديةُ عند القطب الجنوبي للكوكب فهي ثنائي أكسيد الكربون متجمِّد. ويبدو أن صقيعَ الشتاء هو ماءٌ متجمِّدٌ وغبار، مع ظهور ضباب وسُحُب رقيقة بين حين وآخر.

أما الغلافُ الجوّي للمرّيخ فهو أوهن من أن يحجب الأشعةَ الشمسيةَ فوق البنفسجية الضارّة التي ما تنفكّ تسفع وجه الكوكب. ويطغى عليه ثنائي أكسيد الكربون، الذي يؤلِّف 95 في المئة من تركيبه، إضافةً إلى 2 ـ 3 في المئة آزوت، و 1 ـ 2 في المئة أرغون، و 0,1 ـ 0,4 في المئة أكسجين، مع أثارةٍ من بخار ماء وغازات أخرى.

تهبُّ رياحٌ غباريةٌ هوجاء دوّامة من نصف الكرة الجنوبي صيفاً، وغالباً ما تجتاح كلَّ أرجاء الكوكب. تثير هذه الرياحُ، التي قد تصل سرعتُها إلى 120 كم/ساعة (75 ميل/ساعة) في الساعة، غباراً خفيفَ اللون، فتعرّي الصخورَ الدكناء وتُغيِّر شكلَها بالحتّ والتآكل. وقد لوحظَ أن طبقات رقيقةً من الجليد والغبار بطول مئات الكيلومترات تتوضَّع عند القطبين بفعل عواصف غبارية شاملة مستمرة بتعاقُب الفصول.

ومن المأمول أن تصبح أوَّلُ رحلة مأهولة إلى المرّيخ حقيقةً واقعةً في غضون السنوات العشر المقبلة. ولا بد من أن يسبق ذلك بالطبع إرسال أجهزةٍ ربوطيةٍ تزوِّدنا بالمزيد من الخرائط والمعطيات عن سطح الكوكب، وقد تتمكن هذه الأجهزة من استحضار عيِّنات من صخورِ المرّيخِ وتربتِه إلى الأرض لتحليلها.

وإذ يدرك العلماءُ ـ بحقٍّ ـ أن وجود الماء أساسيٌّ للحياة، فهم يعتقدون أن ثمة نوعاً من الحياة شهده المرّيخ في الماضي البعيد، عندما كان أكثر دفئاً ورطوبة. ويُحتمل وجود حياة ميكروبية عليه حتى الآن.

اذكر دليلَيْن على أن المريخ قد شهدَ فيما مضى ماءً جارياً على سطحه.

(1) ....

(2) ....

الجواب: (1) وجود القنوات السطحية العميقة المتعرِّجة، التي تبدو وكأنها

شُقَّت بفعْل أنهار عظيمة متدفقة؛ (2) وجود القلنسوة الجليدية الدائمة في قطبه الشمالي، وهي مؤلَّفةٌ من ماء متجمِّد ربما كان متدفقاً على سطحه في الماضي.

12.9 قمرا المرّيخ

فوبوس وديموس قطعتان صخريتان صغيرتان غير منتظمتَي الشكل لا يزيد طولهما على 21 كم (13 ميلاً) و 12 كم (7 أميال) على الترتيب (الشكل 19.9). يُتِمُّ فوبوس دورةً حول المرّيخ كل 7,7 ساعات، في حين يُنجِز فوبوس دورتَه حوله في 1,3 يوم.

يبدو القمران كلاهما هَرِمَيْن نوعاً ما، وتغشاهما فوَّهاتُ صدمٍ متفاوتةُ القِدَم. يلاحَظ على فوبوس وجود حزوز striations وسلاسل من فوَّهات صغيرة، يُطلَق على أكبرها اسم «ستيكني» Stickney الذي يقارب قطرُه 10 كم (6 أميال).

وَرَدَ ذِكْر قمرَيْن للمرّيخ في كُتُب الأدب؛ فقد ذَكَرَهما الأديب الإنكليزي جوناثان سويفت Jonathan Swift سنة 1727 [في كتابه رحلات غَليفر[1] Gulliver's Travels] قبل زمن طويل من اكتشافهما فعلاً على يد عالِم الفلك الأمريكي أساف هول Asaph Hall (1829 ـ 1907).

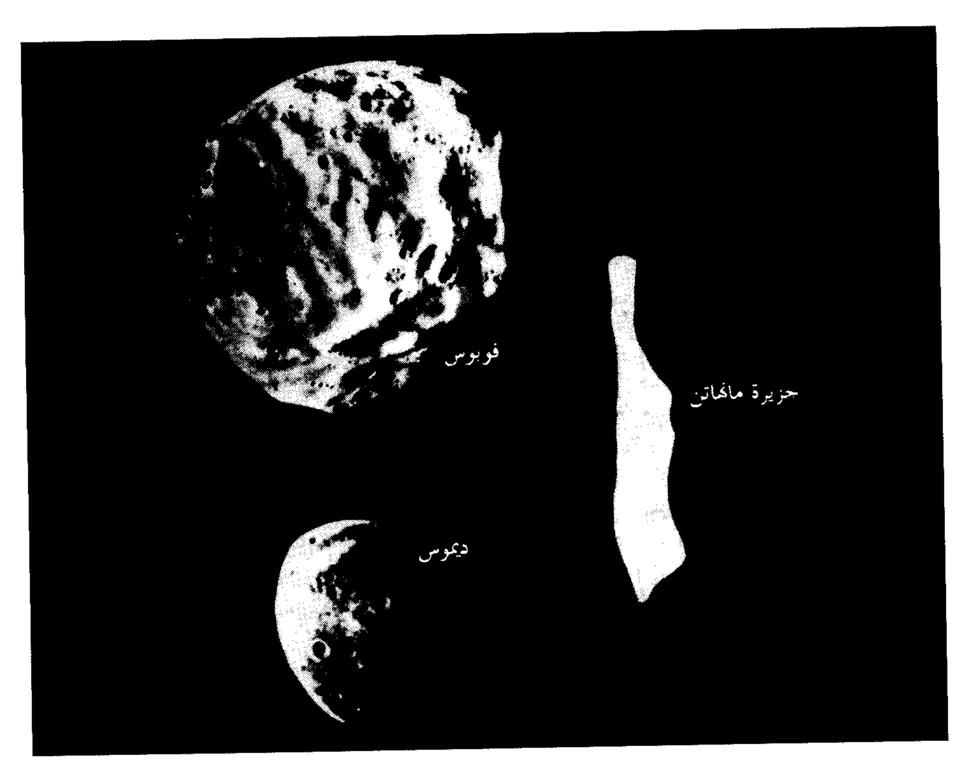
صِفْ باختصار قمرَي المرِّيخ ....

....

الجواب: قطعتان صخريَّتان صغيرتان ليس لهما شكلٌ منتظم، وتغشاهما الفوَّهات.

---

(1) ذلك عندما توقَّف غليفر في مصرٍ خياليٍّ أسماه لاپوتا Laputa يقطنه عددٌ كبيرٌ من الفلكيين، وكان من بين مكتشفاتهم قمران للمرّيخ صغيران. (المعرِّب)



الشكل 19.9 فوبوس وديموس، قمرا المرّيخ، وقد جُعِلا على مقياس تصويرٍ واحد مع جزيرة مانهاتن للمقارنة.

13.9 المشتري: رصده

سُمِّيَ كوكبُ المشتري Jupiter نسبةً إلى جوپيتر ملكِ الآلهة وحاكم الكون في الأسطورة الرومانية القديمة. وهو أكبر كواكب المنظومة الشمسيةَ على الإطلاق، لذلك يفوق سطوعُه في الليل سطوعَ النجوم وسائر الكواكب إلا الزُّهرة.

يمكن - باستعمال مقراب صغير - رصْد كوكب المشتري بحُزُمه السحابيَّة الكثيفة الملوَّنة والمتوازية، وبقعته الحمراء الكبرى، وأكبر أربعة أقمار من أقماره هي: آيو Io، وأوروپا Europa، وغانيميد Ganymede، وكاليستو

Callisto. تتغيَّر مظاهرُ هذه الأقمار كلَّ ليلة في أثناء دورانها حول الكوكب. وتُدرِج المنشوراتُ الفلكيةُ وبرمجيات الكمبيوتر (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب) المواقعَ الحالية للأقمار وحالات احتجابها وعبورها.

في سنة 1979 تمكَّنت مركبتا الفضاء الربوطيَّتان الأمريكيتان ڤوياجر 1 و2 من الاقتراب من المنظومة المشترَوية؛ فحلَّقت ڤوياجر 1 على بُعد 206،700 كم (128،400 ميل) من ذُرى سُحُب المشتري، وحلَّقت ڤوياجر 2 على بُعد 570،000 كم (350،000 ميل) منها. وبثَّت المركبتان أكثر من 33،000 صورة.

على أن أفضل رصْد للمنظومة المشتروية يَرِدُنا من المركبة الرَّبوطية الأمريكية غاليليو. ففي سنة 1995 انشطرت هذه المركبةُ إلى جزءين غيرَ بعيد عن المشتري، فغاصَ أحدُهما - وهو مسبارٌ جوّي atmospheric probe - مندفعاً عبر سُحُب الكوكب، وبثَّ معطيات هامة مدة ساعة واحدة قبل أن تتلفه الحرارةُ العاليةُ والضغطُ المرتفع؛ في حين ما برح الجزءُ الآخر - وهو مركبةٌ طوّافة - يدور حول الكوكب يَجمع معطيات وصُوَراً للمشتري وأقماره، ويبثُّها منذ ما يربو على أربع سنوات.

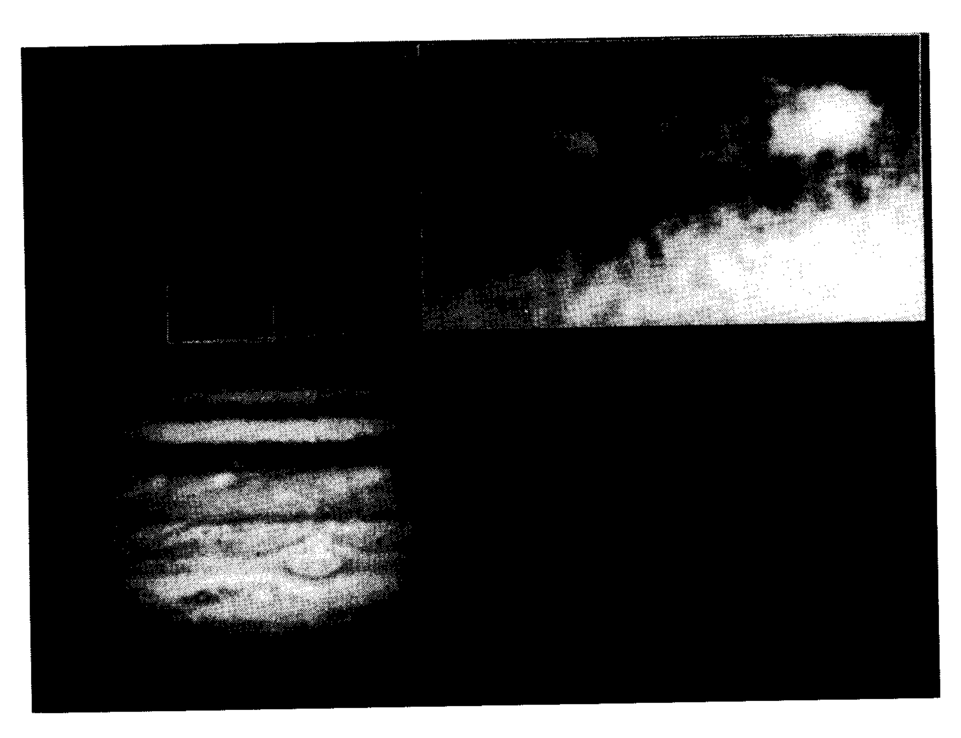
من خلال مقراب صغير، تبدو أسطعُ أقمار المشتري - وهي أربعة - وكأنها نجوم. ما هي الأرصاد التي تدلّل على أنها في واقع الأمر أقمارٌ توابعُ للكوكب؟ ....

الجواب: تبيِّن الأرصادُ أن هذه الأقمار تغيِّر مواقعَها كلَّ ليلة وهي تدور حول الكوكب.

14.9 المشتري: الكوكب

المشتري أكبر كتلةً من سائر كواكب المنظومة الشمسية وأقمارها مجتمعة، حتى لكأنك تشعر أنه كان قاب قوسين من أن يكون نجماً؛ فلو أنه

كان أكبر كتلةً بنحو 80 ضعفاً لبدأت فيه تفاعلات الاندماج النووي (الشكل 20.9).



الشكل 20.9 صورة للمشتري بالضوء المرئي، من مقراب هَبلْ الفضائي. الصورةُ الداخلية هي أول صورة مباشرة فوق بنفسجية للشفق المشتروي.

يبدو الكوكبُ كرةً سائلةً هائلةً رشيقة الدَّوَمان، يعلوها غلافٌ جوّيٌّ كثيف يتألف في المقام الأول من الهيدروجين والهليوم. والظاهر أنه يحتوي على لبٍّ صُلْب صغير نسبياً. تطوّق المشتري منظومةٌ حلقيَّةٌ رقيقة باهتة من حُبَيْبات غباريَّة أطلقَتْها النيازكُ من الأقمار الداخلية العميقة. ويمتد الجزءُ الخارجيُّ، وهو حلقةٌ عنكبوتية واهية تلي حلقةً أخرى أشدَّ سطوعاً، نحواً من 210،000 كم (130،000 ميل) من مركز الكوكب.

تنتشر المظاهرُ السَّحابيةُ المتبدِّلة الغنيَّة بالألوان، وكذلك النماذجُ الجوّية المعقَّدة، انتشاراً في الغلاف الجوّي الديناميّ المرصود؛ إذ تومض صواعقُ بَرْق فائقة، وتظهر أشكالٌ معقَّدة داخل الحُزُم belts المتحرّكة الدكناء اللون والمناطقِ الأخفّ منها لوناً lighter zones وفي ما بينها. وعلى حين أن الهيدروجين، والهليوم، والأثارة المكتشَفة من الميتان، وبخارَ الماء كلَّها عديمةُ اللون، ترى أن الكبريت أو مركَّبات الفوسفور والنشادر على أعماق مختلفة لا بدّ من أن تضفي على الغلاف الجوّي ألوانَه الزاهيةَ الحمراء والبرتقالية والصفراء والبنيّة، وسُحُبَه البيضاء. أما البقعةُ الحمراء الكبرى المعروفة Great Red Spot، فهي عاصفةٌ جوّيةٌ عملاقة رُصِدَتْ منذ أكثر من 300 سنة، مع تفاوت في قياسها ولونها ودرجة سطوعها. تدور البقعةُ الحمراءُ الكبرى عكس اتجاه حركة عقارب الساعة، وهي تدور أيضاً حول الكوكب، وتتَّصف بأنها أقلُّ برودةً من السُّحُب المحيطة، وتعلو فوقَها إلى ارتفاع قد يصل إلى 24 كيلومتراً (15 ميلاً). يلاحَظ أيضاً أن عواصفَ ودوّاماتٍ أصغر نطاقاً تنتشر في شتى أرجاء السُّحُب الشريطية.

تصل درجاتُ الحرارة إلى 160 كلڤن (170° فارنهايتية) عند قمم السُّحُب. ويمتد الغلافُ الجوّيُّ نحو الأسفل نحو 21،000 كيلومتر (13،000 ميل). تتزايد كثافةُ الهيدروجين باطّراد من القمة نحو الداخل مع تزايُد الضغط، إلى أن يتحوَّل إلى هيدروجين سائل. ولا بدَّ من أن يكون الضغطُ في الأسفل عالياً بدرجة تكفي لكبس الهيدروجين إلى حدٍّ بالغ الكثافة يسمى الهيدروجين المعدني السائل liquid metallic hydrogen.

وقد تبلغ درجاتُ الحرارة في لبّ الكوكب 30،000 كلڤن (53،000° فارنهايتية)، وذلك يفسِّر الأرصاد التي تشير إلى أن المشتري يُطلِق زهاء ضعفَيْ كميةِ الحرارة التي يتلقّاها من الشمس. ويُذكَر أن للكوكب حقلاً مغنطيسياً قوياً يَحتبِس الشواردَ (الأيونات) والإلكترونات في نظامٍ معقَّد من

حُزَم إشعاعٍ شديد ضخمة. كذلك فإن تذبذبات البلازما (مجموعة من الأيونات والإلكترونات) تعلّل شيئاً من الإصدار الراديوي المرصود في المشتري. ثم إن الحقلَ المغنطيسيَّ حقلٌ ثنائيُّ القُطب dipolar أساساً، إلا أنه يخالف الحقلَ المغنطيسيَّ الأرضيَّ في الاتجاه. ومن المحتمل أن يكون مصدرُه تياراتٍ كهربائيةً في طبقة الهيدروجين السائل، علماً بأن الحقلَ المغنطيسي للمشتري عند قمم سُحُبه أقوى من الحقل الأرضيّ بـ 1,5 ـ 7 أضعاف. ويتفاوت حجمُ الغلافِ المغنطيسيِّ الهائل للكوكب، ربما بسبب تغيُّرات في ضغط الريح الشمسية؛ فقد يمتدُّ باتجاه الشمس مسافة 7 ملايين كيلومتر (4 ملايين ميل)، ونحو الخارج قرابة 650 مليون كيلومتر (400 مليون ميل) حتى مدار كوكب زُحَل.

ولعلّ الغلافَ الجوّي للمشتري لافتٌ للنظر بنوعٍ خاص، إذ قد يكون شبيهاً بغلاف الأرض الأول.

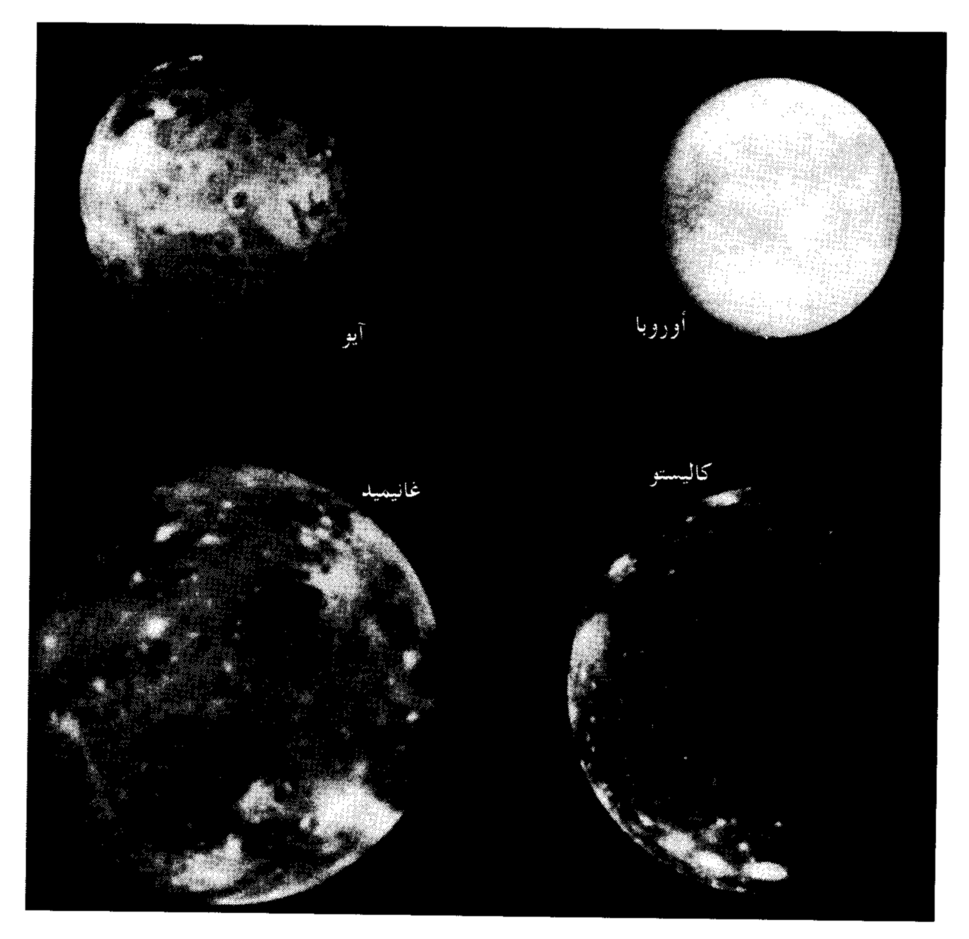
ممَّ يتألّف جوُّ المشتري؟ ....

الجواب: يتألف بالدرجة الأولى من الهيدروجين والهليوم، مع أثارةٍ من الميتان والنشادر وبخار الماء وغازات أخرى.

15.9 أقمار المشتري

عُرِف حتى اليوم 16 قمراً، معظمها صغير، تطوف بالمشتري (انظر الجدول 3.8). وركَّزت مركبةُ غاليليو على أكبر أربعة منها تسمّى أقمار غاليليو Galilean moons، نسبةً إلى مكتشفها غاليليو غاليليه، يضاف إليها أعمق الأقمار الداخلية: مِتيس Metis وأمالثيا Amalthea وثيبِي Thebe (الشكل 21.9).

أما أمالثيا الصغير فيحاكي كرةً حمراء قانية تكتنفها آثار صدمٍ نيزكية.



الشكل 9.21 صورةٌ فوتوغرافيةٌ مركَّبة لأقمار غاليليو الأربعةِ الطوّافةِ بكوكب المشتري، التقطتها مركبةُ ڤوياجر الفضائية.

وأما آيو الغنيُّ بالألوان [فهو أقرب أقمار غاليليو إلى المشتري]، ويتميَّز ببراكينه النشطة التي تلفظ موادَّ حمميَّة غنيَّةً بالكبريت تلوِّن سطحه بألوان برتقالية زاهية وحمراء وبنِّيّة وسوداء وبيضاء. وما البقعُ البيضاءُ الناصعة على القمر آيو إلا صقيع من ثنائي أكسيد الكبريت. وما غلافُه الجوّي الواهي المتخلخل إلا غاز من ثنائي أكسيد الكبريت في المقام الأول. وأغلب الظن أن براكينه ناشئةٌ عن التسخين الذي يسبِّبه الشدُّ التثاقلي من أوروبا وغانيميد على آيو، والجذب الذي يعقبه عليه من المشتري لإعادته إلى مساره النظامي،

فتتولّد عن ذلك انتفاخاتٌ مدِّيَّة tidal bulges على سطح آيو أكبر مئةَ مرة من الانتفاخات المدِّيَّة على الأرض، التي تبلغ عادةً متراً واحداً (3,3 أقدام).

تحوم سحابةٌ عملاقةٌ من الجُسَيْمات المشحونة، تتألف أساساً من أيونات الكبريت والأكسجين، حول المشتري على بُعد القمر آيو منه. والمرجَّح أن تلك الجسيمات منتَزَعةٌ من آيو بفعل القوى المغنطيسية، ولاسيما إذا علمنا أن الغلافَ المغنطيسيَّ للمشتري يدور معه. وقد تنتقل أيضاً جُسَيماتُ السحابة على امتداد خطوط الحقل المغنطيسي للكوكب داخل غلافَيْه القطبيَّين الشمالي والجنوبي، مسبِّبةً مشاهد شفقيةً مشتروِيةً أخّاذة.

وثمة دليلٌ قاطعٌ على وجود جليدٍ مائي على سطوح الأقمار: أوروبا وغانيميد وكاليستو. يلاحَظ أنَّ أوروبا ـ الذي يناهز قمرَنا حجماً وكثافةً ـ هو أسطعُ أقمار غاليليو، وقد تَخْتَزِن قشرتُه الجليديةُ الملساء، التي تتقاطع عليها خطوطٌ طويلةٌ، بحراً محيطاً من المياه سخَّنَتْها الحرارةُ المدّيّة.

يتألّف غانيميد وكاليستو من نسبة من الماء قد تصل إلى 50 في المئة، تشوبها موادّ صخريّة. وغانيميد أكبرُ قمر معروف في المنظومة الشمسية، إذ يبلغ قطره 5260 كم (3261 ميلاً)، وعلى سطحه مساحاتٌ دكناء قد توحي بالقِدَم، تغشاها فوَّهاتٌ كثيرةٌ ومظاهر تضاريسيةٌ أزهى لوناً وأكثر فتوَّةً تتميز بوجود أثلامٍ وأخاديدَ فيها، تُنْبِئ بنشاط تكتونيٍّ شامل. ويبدو سطحُ كاليستو أكثرَ صنوانِه قِدَماً، وتنقبه فوَّهاتُ صَدْم كثيرة. ولعلَّ أكبر الفوَّهات قد انطمست عبر الزمان بتدفُّق القشرة الجليديةِ عليها. ويرصد العلماءُ معالمَ تشبه مخلَّفات أحواض كبيرة جداً ربما تنهض دليلاً على حوادث تصادمٍ بقطعٍ ضخمةٍ من الصخر والمعدن.

(أ) ما هو أكبر قمرٍ في المنظومة الشمسية؟ ....

(ب) وكم قطره؟ ....

الجواب: (أ) غانيميد؛ (ب) 5260 كم (3261 ميلاً).

16.9 زُحَل

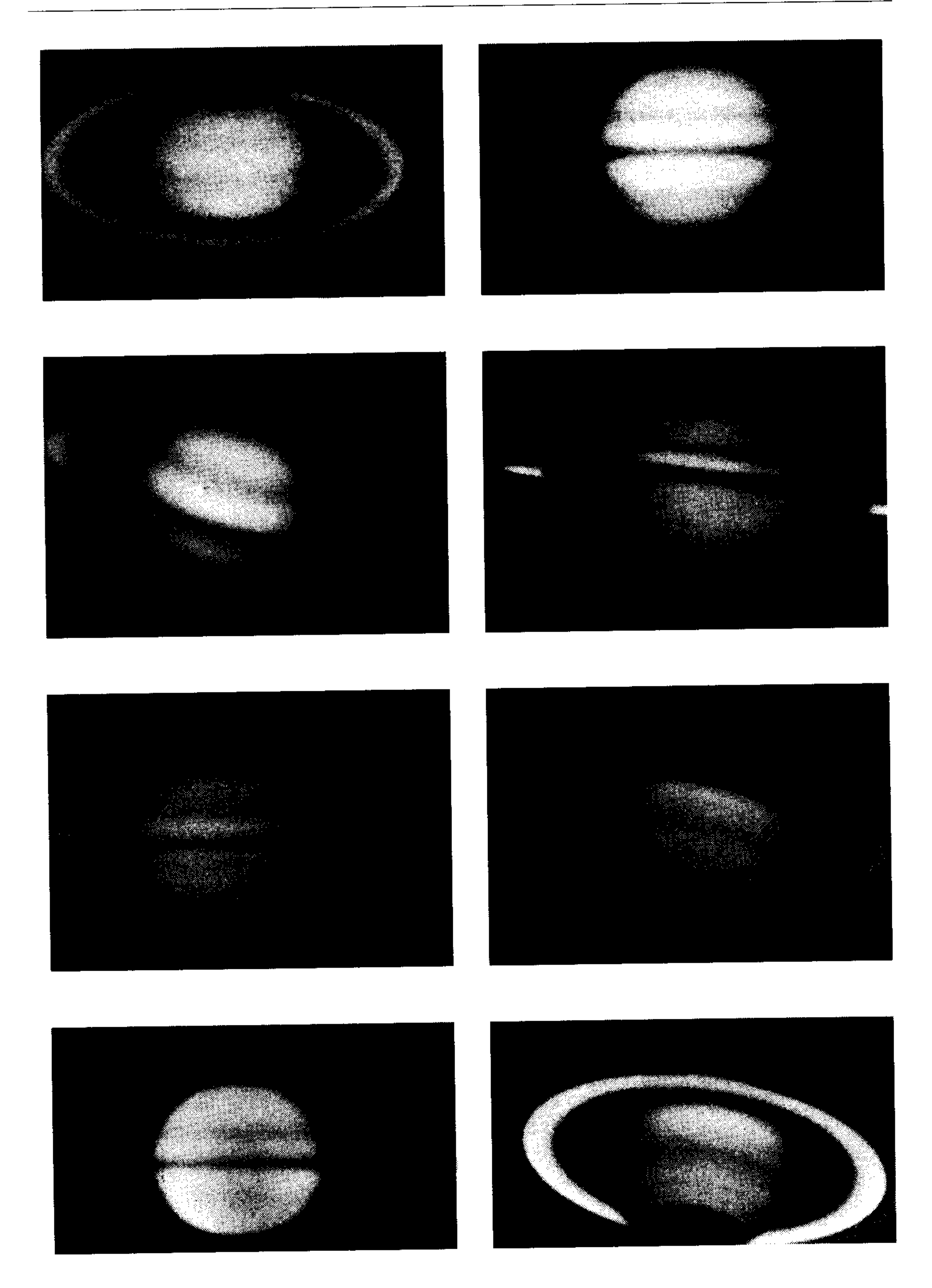
زُحَل Saturn أبعدُ الكواكب الساطعة، استَمدَّ اسمَه من ساتورن آلهةِ الزراعة عند الرومان. تُميِّزه حلقاتٌ باهرةُ الضوء (الشكل 22.9) سُمِّيت وفقاً لترتيب اكتشافها ـ اعتباراً من الكوكب باتجاه الخارج ـ بحروفٍ عُرِفَتْ بها هي: D، C، B، A، F، G، E.

تُرى الحلقاتُ بزوايا كثيرة، حتى 29°، لأن الأرض وزُحَل كليهما يدوران حول الشمس. ولما كان زُحَل يستغرق 29,5 سنة ليُتمَّ دورتَه حول الشمس، فإننا نراه في اتجاه واحد بالنسبة إلى الأرض في المنطقة نفسها من السماء مدةَ شهور. ومع أن أسطع حلقاته تبلغ 65،000 كم (40،000 ميل) عرضاً، إلا أنها رقيقةٌ لا تتجاوز بضعة كيلومترات (أميال) سُمكاً، بحيث يمكن رؤيةُ النجوم من خلالها (الشكل 22.9).

حلَّقت مركبةُ ڤوياجر 1 سنة 1981 على بُعد 64،200 كم (40،000 ميل) من ذُرى سُحُب زُحَل، ثم ڤوياجر 2 سنة 1982 على بُعد 41،000 كم (26،000 ميل) منها. وبَثَّت المركبتان 33،000 صورة للمنظومة الزُّحَليَّة.

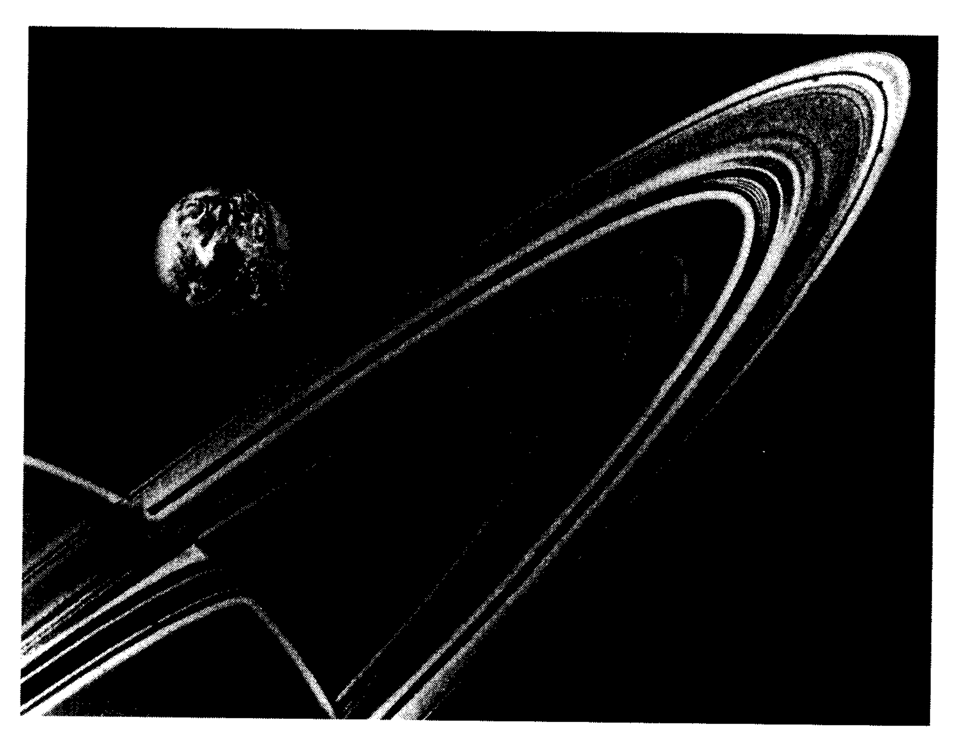
تتألف حلقاتُ زُحَل من جُسَيْمات جليديّة أشبه بكُرات ثلجية أو صخور مكسوَّة بالجليد تطوف حول زُحَل، بعضُها لا يتجاوز حجمَ هباءة الغبار، في حين يصل بعضُها الآخر إلى حجم جلمودٍ كبير. وهي تضيء بانعكاس ضوء الشمس عليها. ويُحتَمل أن تكون الجسيماتُ الكبيرةُ مخلَّفاتِ أقمارٍ هشَّمَتْها الصَّدمات، والصغيرةُ من نواتج حوادث الصَّدم؛ أو قد تكون الحلقاتُ مادّةً لم يُكتَب لها أن تجتمع في قمر واحد.

مئاتٌ من حُلَيقاتٍ ringlets دقيقة هي التي تؤلِّف الحلقات Aو B و C، وهذه يمكن رؤيتُها بمقاريب صغيرة. يُلاحَظ في الحلقة B وجود معالم طويلةٍ تشبه شعاع الدولاب، ربما تكون جُسَيْماتٍ دقيقةً مضيئةً أثارتها القوى الكهرساكنة.



الشكل 9 . 22 هيئات كوكب زُحَل كما يبدو من الأرض. حَدَثَ أكبر مَيْلٍ للطرف الشَّمالي للحلقات باتجاه الشمس سنة 1987؛ يتَّجه الطرفُ الجنوبي للَحلقات حالياً شطر الشمس. رُصِدت الحلقاتُ على حرفها آخر مرة سنة 1996.

في سنة 1979 اكتَشَفت المركبةُ الأمريكيةُ الرَّبوطيّة بيونير Pioneer 11 الحلقةَ F. وتتَّصف هذه الحلقةُ بأنها ذات حُلَيْقاتٍ منفصلة تتضافر جزئياً وتنفتل بتأثير القوى التثاقلية لقمرَيْن صغيرَيْن «يرْعَيان» تماسُك مادَّةِ الحلقة[1]. وقد أكَّدَتْ مركبةُ ڤوياجر 1 وجودَ الحلقتَيْن D و E، واستطاعت اكتشافَ الحلقة G (الشكل 9.23).



الشكل 9.23 حلقات زُحَل كما صوَّرتها مركبةُ الفضاء ڤوياجر، محسَّنةً بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة. الحلقاتُ الساطعة أعرض بنحو خمس مرات من الأرض (تَظهران في الصورة بمقياسٍ واحد)، في حين لا يكاد يتجاوز سُمْكُها 100 متر.

(1) لذلك تسمى أمثال هذه بالأقمار الرُّعاة shepherding satellites. (المعرِّب)

وكوكب زُحَل ـ شأن المشتري ـ كرةٌ غازيةٌ هائلة متعدِّدة الطبقات، ذات لبٍّ صغيرٍ نسبياً مؤلَّف من الحديد والسيليكات. غلافُه الجوّيُّ ديناميٌّ مسطَّحٌ عند قطبَيْه بسبب دورانه السريع حول محوره. على أن ألوانَه ومعالمه، من قبيل الحُزُم والمناطق والأشكال الإهليلجية المعمَّرة، أقلُّ تَميُّزاً بكثير لوجود طبقة سديميَّة فوق السُّحُب المرئية. صحيحٌ أن لغلاف زُحَل الجوّيِّ مكوِّنات المشتري نفسها، ولكن بنسَبٍ مختلفة؛ فهو يحتوي على أقل من نصف مقدار الهليوم. ويجدر بالذكر أنَّ ما يطلقه زُحَل من الطاقة يفوق ما يمتصُّه منها عن طريق الشمس. ولعلَّ ترسُّب الهليوم من الغلاف الجوّي المكوَّن أساساً من الهيدروجين هو الذي يمدُّ الكوكبَ بحرارته الداخلية.

وعلى فواصل زمنية تقارب 29,5 سنة، يتلقّى نصفُ الكرة الشمالي من زُحَل حرارةً أعظميةً من الشمس، فتظهر فجأةً بقعةٌ بيضاءُ عظيمةٌ بقطر آلاف الكيلومترات، إن هي إلا عاصفةٌ غازيّة عملاقة مندفعةٌ من أعماق الغلاف الجوي للكوكب. مثال ذلك البقعةُ الإهليلجية البيضاء العظيمة The Great White Oval التي ظهرت بتاريخ 24 أيلول (سبتمبر) 1990 وانتشرت على مسافات واسعة من المنطقة المدارية للكوكب في شهر تشرين الأول (أكتوبر)، ثم خَبَتْ وغابت عن النظر في شهر تشرين الثاني (نوفمبر).

تحدث أعتى الرياح، التي تزيد سرعتُها على 1600 كم/ساعة (1000 ميل/ساعة)، في المنطقة الاستوائية من زحل، وهي أعتى بكثير من رياح المشتري؛ إذ تقع درجاتُ الحرارة عند ذُرى السُّحُب بين 86 كلڤن (305° فارنهايتية) قرب مركز المنطقة الاستوائية و 92 كلڤن (294° فارنهايتية). يصحب ذلك إصداراتٌ شَفَقيَّة والتماع برق.

ومع أن كتلةَ زُحَل تفوق كتلةَ الأرض 95 مرة، وحجمه يتجاوز حجمها 844 مرة، فإنّ لَه أخفضَ معدَّل كثافة بين الكواكب جميعاً، وهذا يستتبع أن يطفو على وجه الماء لو أن بحراً واسعاً أتيح له الوجود في مكانٍ ما!

يبلغ الغلافُ المغنطيسيُّ لزُحَل زهاء ثُلُث حجم غلاف المشتري، ويتغيَّر ـ هو أيضاً ـ مع تغيُّر شدَّة الرّيح الشمسية. وقد يمتد باتجاه الشمس قرابة مليونَيْ كم (مليون ميل). يجتذب الحقلُ المغنطيسيُّ الجُسَيْماتِ المشحونةَ المحدقة بزُحَل في أثناء دورانه حول نفسه.

هذا وقد أَطلقَ العلماءُ في الولايات المتحدة وأوروبا سنة 1997 مركبةً فضائيةً أسموها كاسّيني Cassini لاستكشاف زُحَل سنة 2004. وقد رُسِمَ للمركبة أن تنشطر لدى اقترابها من الكوكب إلى قسمين:

1) مسبارٍ أُطلق عليه اسم هايغِنْز Huygens، مهمَّتُه إجراءُ اختبارات والتقاطُ صُوَر في أثناءِ انحداره عبر الغلاف الجوّي للقمر تيتان Titan، وبَثُّ تقرير مُجْمَل عن السطح فيما إذا حطَّ المسبار بسلام وسارت الأمور على ما يرام؛ 2) مركبةٍ طوّافةٍ لبثِّ معطيات علمية عن زُحَل وأقماره مدةَ أربع سنوات متواليات.

(أ) ممَّ تتألَّف حلقاتُ زُحَل؟ ....

....

(ب) هل لك أن تعطي تفسيراً لمظهرها المصْمَت عند استعمال مقراب صغير؟ ....

....

....

الجواب: (أ) جُسَيْمات جليدية يقع حجمُها ما بين هباءة غبار وجلمود ضخم، تشبه كراتِ ثلجٍ جليديةً أو صخوراً مكسوَّةً بالجليد، تطوف بزحل؛ (ب) كثرة عدد الجُسَيْمات وبُعدها الكبير عنّا. (تذكَّر كذلك أن المجرّات النائيةَ تبدو مصمتةً هي الأخرى، مع أنها مؤلَّفةٌ من مليارات النجوم المنفصلة).

17.9 أقمار زُحَل

لِزُحَل 18 قمراً مؤكَّداً وعدّةُ أقمارٍ مظنونة (الجدول 3.8). ويُحتمل اكتشافُ أقمارٍ أخرى في ضوء تواصُل جهود العلماء في تحليل الكمّ الضخم من المعطيات التي وفّرتها مركبة ڤوياجر.

وتيتان Titan أكبرُ أقمار زُحَل[1] وأكثرها إثارة (الشكل 24.9)؛ فغلافه الجوّي ـ المصطبغ بلون برتقالي ـ غلافٌ حقيقيٌّ ملموس يطغى على تركيبه الآزوت، إضافةً إلى مركَّبات هيدروكربونية كالميتان. ولربما تجري فيه عملياتٌ حيويَّةٌ أوَّلية prebiotic processes. يختفي سطح تيتان تحت طبقة من سديمٍ كثيف. ويغلب على الظن أنه مركَّبٌ من الصخر والجليد، مع إمكان وجودِ بحرٍ من مركَّبَي الميتان والإيتان السائلَيْن. وتبلغ درجةُ حرارته السطحية وضغطُه السطحي 94 كلڤن (−292° فارنهايتية).

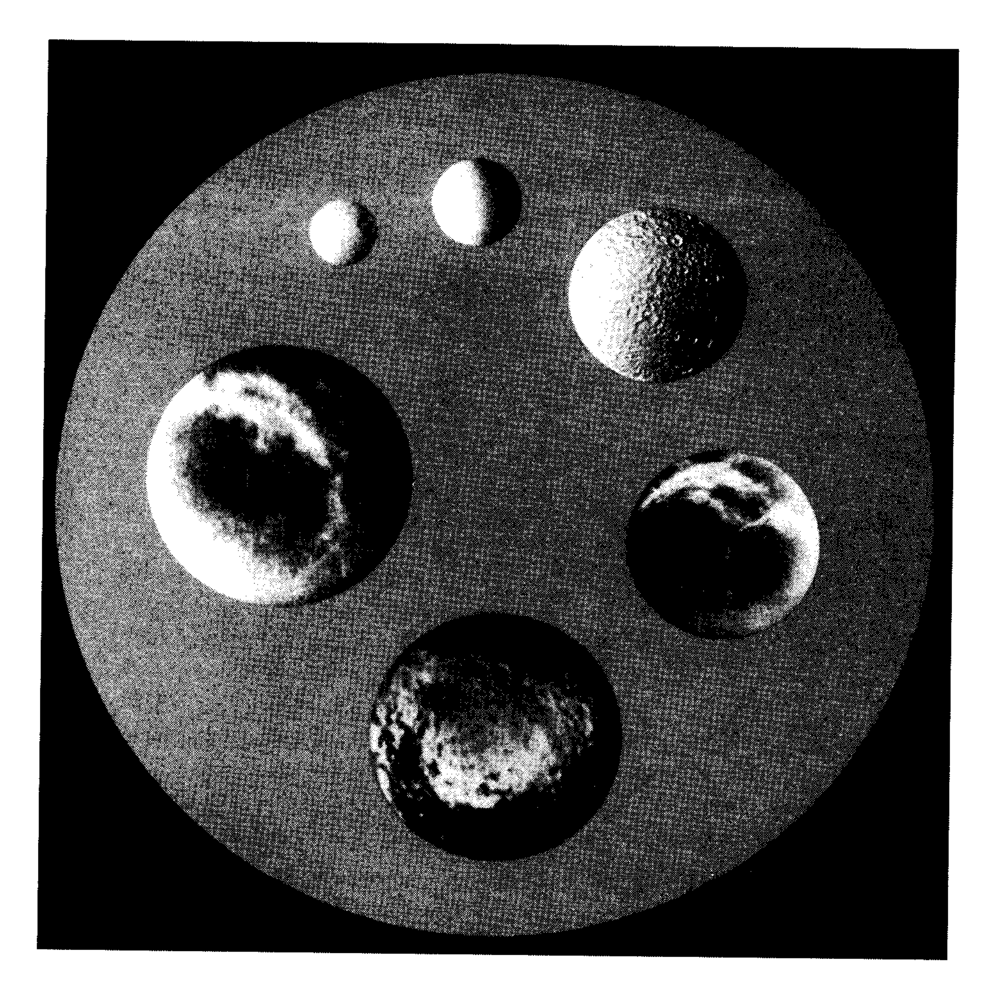
وأما الأقمار: ميماس Mimas، وأنسيلادوس Enceladus، وتيثيس Tethys، ودايوني Dione، ورِيا Rhea، فيبدو أنها مؤلَّفة في معظم تركيبها من جليد مائي، وجميعُها ـ فيما عدا أنسيلادوس ـ مثقلٌ بالفوَّهات. كذلك يتألف هايپيريون Hyperion، وأياپيتوس Iapetus فيما يبدو من جليد مائي.

وفي حين يظهر هايپيريون على أنه أقدم أقمار زُحَل، وبوجود مظاهر تدل على تعرُّضه قبلُ لصدم أحجارٍ نيزكية، يُلاحَظ على أياپيتوس مادةٌ ثلجيةٌ دكناءُ على طرفَيْه المتقابلَيْن. لكن أكثر ما يَلفت النظرَ هو أن القمر فيبِي Phoebe يدور بحركة تراجعية.

ثمة ثمانية أقمار صغيرة أخرى ذات أشكال غير منتظمة، تشير إلى أنها شظايا أجرامٍ عظيمة تحطَّمت. فالقمر پروميثيوس Prometheus «يرعى» الحافة

---

(1) يبلغ قطره نحو 5000 كيلومتر (3000 ميل)، أي إنه أكبر قطراً بقليل من كوكب عطارد، ويقارَن من حيث كتلته ونصف قطره بأقمار المشتري الكبيرة كغانيميد وكاليستو. (المعرِّب)



الشكل 9 . 24 تيتان ـ أكبر أقمار زُحَل ـ (بدون غلافه الجوّي الغليظ)، والأقمار المتوسطة الحجم معروضة بمقياس تصويرِ واحد في هذه الصورة المركَّبة مما بثَّته مركبةُ ڤوياجر.

الداخلية للحلقة F، ويرعى القمرُ پاندورا Pandora حافَتها الخارجية. ويُذكَر أن تأثيرهما التثاقلي على مسافات متفاوتة قد يسبِّب انفتال الحلقة.

أيُّ أقمار زُحَل هي أكبرها وأكثرها إثارة؟ اشرح ....

....

الجواب: تيتان. له غلاف جوّي ملموس يغلب على تركيبه الآزوت والمركّبات الهيدروكربونية. ولربما تجري فيه عملياتٌ حيويّةٌ أوّلية.

18.9 أورانوس

كان أورانوس Uranus أولَ كوكبٍ جرى تعرُّفه بوساطة مقراب، عندما اكتشفه سنة 1781 عالِمُ الفلك البريطاني ويليام هيرشل William Herschel (1738-1822) باستعمال مقرابٍ قياسُ فوّهته 150 مم (6 بوصات) من صنع يده. كان مرشَّحاً ليُطلَق عليه اسمٌ منسوبٌ إلى الملك جورج الثالث [الذي اكتُشِف الكوكبُ في عهده]، إلا أنه سُمِّيَ أخيراً أورانوس نسبةً إلى إله السماوات في الأساطير الإغريقية القديمة.

يبدو كوكبُ أورانوس، الذي يبلغ قَدْرُه الأعظمي +5,7، كقرصٍ صغير (يتَّخذ لوناً أزرق أحياناً) عند رصده بمقراب. ويمكنك رؤيتُه بعينك المجرَّدة أو بمنظارك إذا عرفتَ أين تنظر وأنت ترعى السماء (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

كان الكوكبُ مصدرَ غموضٍ وإبهامٍ إلى حدٍّ بعيد، إلى أن حلَّقَتْ مركبةُ ڤوياجر 2 سنة 1986 على بُعد 81،500 كم (50،600 ميل) من ذُرى سُحُبِه، وبَثَّتْ 7000 صورة لمنظومة أورانوس.

يتميَّز أورانوس بِمَيلانه الشاذِّ على جانبه، وتحيط به منظومةٌ من حلَقات ضيِّقة، وهو بذلك يشبه «عين ثور» bull's eye عملاقة. تبلغ الزاويةُ الفريدة بين محوره وقطب مداره 98°. وتتعرَّض مناطقُه القطبيةُ الشماليةُ والجنوبية لضياء الشمس والظُّلمةِ على التناوب في أثناء تطوافه حول الشمس، مع العلم بأن دورانَه المحوريَّ تراجعيٌّ.

ولعلَّ أورانوس تعرَّضَ في المراحل الأولى من تاريخه لتصادُمٍ مع جِرمٍ بحجم كوكب زَعْزَعَه فمالَ نتيجةً لذلك.

يطغى على تركيب غلافِه الجوّيِّ الهيدروجينُ ونحو 15 في المئة هليوم ومقادير ضئيلة من الميتان وغيره من المركَّبات الكربوهيدراتية. ويعود سببُ ما يبدو عليه من زرقة في اللون إلى أنَّ غاز الميتان يَنْزِعُ إلى امتصاص الضوء الأحمر من ضوء الشمس. وفي غلافه الجوّي سُحُبٌ تمرُّ من الشرق إلى الغرب، شأنَ سُحب كوكبَي المشتري وزُحَل.

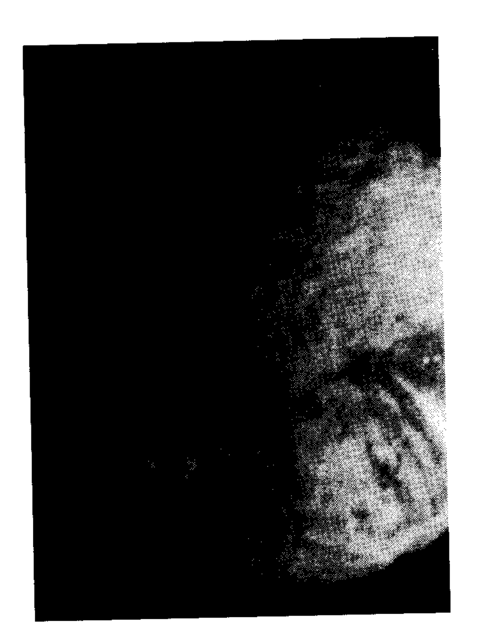
تهبّ الرياحُ فيه باتجاه دوران الكوكب، وبسرعات تقع بين 40 و 160 م/ ثا (90 و 360 ميل/ ساعة). ومن عَجَبٍ أنَّ ذُرى سُحُبه ـ المضاءَة منها بالشمس والمظلمة ـ تُبدي معدَّلَ درجةِ حرارةٍ واحداً يقارب 60 كلڤن (-350° فارنهايتية).

وقد كَشَفَتْ مركبةُ ڤوياجر 2 عن وجود سديمٍ حول القطب الجنوبي المضاء بالشمس، ومقادير كبيرة من الضوء فوق البنفسجي، أُطلق عليها اسم وهج النهار dayglow، صادرة عن نصف الكرة المضاء بالشمس من الكوكب.

ولأورانوس أيضاً غلافٌ مغنطيسيٌّ ذو حُزُم إشعاعٍ شديد وإصداراتٍ راديوية قويّة. ويميل محورُ حقلِه المغنطيسي بزاويةٍ مقدارها 60° باتجاه محور الدوران. ويُظهِر حقلُه المغنطيسيُّ تماثُلاً مع الحقل المغنطيسي الأرضيّ من حيث الشدَّة، غير أنه يتفاوت تفاوتاً أكبر بكثير بسبب انزياحه عن مركزه. وربما تولَّدَ هذا الحقلُ نتيجةً لوجود بحرٍ محيطٍ من الماء والنشادر، موصِلٍ كهربائياً ومضغوطٍ ضغطاً فائقاً، يقع بين الغلاف الجوّيِّ للكوكب ولبِّه الصخري.

يمتد خلفَ الكوكب ذيلٌ مغنطيسيّ magnetotail أسطوانيٌّ دوّار مسافةً لا تقلّ عن 10 ملايين كيلومتر (6 ملايين ميل)، ينفتل متَّخذاً شكلَ نزّاعة سدادات فلّينية corkscrew متطاولة بفعل الدوران الاستثنائي للكوكب.

ثمة إحدى عشرة حلقةً ضيِّقة تختلف اختلافاً واضحاً عن حلقات المشتري وزُحل (الشكل 25.9)، وهي دكناء قاتمةٌ تتألَّف في معظمها من





الشكل 25.9 (أ) ميراندا، أحد أقمار أورانوس، في صورةٍ مركَّبة مما بثَّته مَرْكبةُ ڤوياجر 2. (ب) حلقات أورانوس كما تَصوَّرها فنّان، رُسِمتْ فوق صورةٍ مركَّبة من صور ڤوياجر 2. يَظهر سطحُ القمر ميراندا في أمامية الصورة.

قطع جليدية كبيرة بقطر عدة أقدام. ويُعتَقد أنَّ التعرُّضَ الشديد للإشعاع ربما أسبَغَ على أيِّ ميتانٍ محتبَسٍ في سطوحها الجليدية ذاك اللون القاتم. وتلاحَظ مساربُ lanes غباريةٌ عابرةٌ ما إن تبدو حتى تختفي. ولا بدَّ من أن هذه القطع الغليظة تتلاطم في ما بينها مولِّدةً الغبار الدقيق الذي يبدو منتشراً في جميع أنحاء المنظومة الحلقية الأورانوسيَّة. وقد رَصَدت مركبةُ ڤوياجر 2 حول أورانوس ظاهرةَ سَحْبٍ جوّي atmospheric drag ناشئ عن إكليلٍ هيدروجيني hydrogen corona. هذا السَّحْب الجوّي ربما يتسبَّب في دخول الجُسَيْمات الغبارية لولبياً إلى داخل الكوكب.

ويوحي وجودُ حلقاتٍ غير تامة، وكذلك تغيُّر الكُمدة opacity في عدد من الحلقات الرئيسية، بأن منظومة الحلقات ربّما تكوَّنت بعد أورانوس نفسه. وقد تكون الجُسَيْماتُ الحلقيَّةُ أنقاضاً لقمرٍ تهشَّم بفعل حادثة صدمٍ عالية السرعة، أو تمزَّقَ بظواهر تثاقلية.

ما سبب مَيَلان كوكب أورانوس على محوره؟ ....

....

الجواب: من المحتمل أنَّه تعرَّض في المراحل الأولى من تاريخه لتصادمٍ زعزعَه.

19.9 أقمار أورانوس

تطوف بأورانوس خمسةُ أقمارٍ كبيرة، وما لا يقلّ عن اثني عشر قمراً صغيراً (انظر الجدول 3.8).

ولا يبدو أكبر هذه الأقمار في السماء أكثر من نُقَطٍ ساطعة صغيرة، حتى باستعمال المقاريب الكبيرة. أولُ ما اكتُشِف من هذه الأقمار هو تيتانيا Titania سنة 1787، وآخر ما اكتُشِف منها ميراندا Miranda سنة 1948. وقد وَجَد العلماء مما وفَّرته لهم مركبةُ ڤوياجر 2 أن أقمار أورانوس تكتُّلاتٌ صخريةٌ ـ جليدية رماديةٌ دكناء يؤلِّف الجليدُ المائي في ما يبدو نحواً من 50 في المئة من تركيبها، في حين يتألف 20 في المئة من الكربون والمواد التي تقوم على الآزوت، و30 في المئة من الصخر.

ميراندا ـ أصغر الخمسة ـ يبدو أغربَها على الإطلاق (الشكل 25.9)؛ فهو يضمُّ أخاديد صدعيَّةً بعمق 20 كم (12 ميلاً)، وطبقات منحدرةً ومستوية (مصاطب)، ومظاهر تضاريسية منكسرة (على شكل V)، وجبالاً شديدة البروز، وسهولاً منبسطة مترامية. هذا المزيج غير المتَّسق من الأنماط

التضاريسية المتغايرة، على سطوحٍ هرمةٍ وفتيَّة، يدلُّ على تنوُّع في النشاط التكتونيِّ والصدم العنيف والتسخينِ المدّي الذي يسبِّبه الشدُّ التثاقليُّ لكوكب أورانوس على قمره.

يبلغ حجمُ أكبر قمرَيْن: تيتانيا وأوبيرون Oberon زهاء نصف حجم قمرنا. أما آرييل Ariel فهو أسطعها، وقد يكون سطحُه أكثرَها فتوَّةً بما يحويه من وديانٍ متصدِّعة ونماذجِ تدفُّقٍ جليدية واسعة النطاق. وإذا كان الأمر كذلك هنا، فإن تيتانيا يضمُّ منظوماتٍ صدعيَّةً هائلةً وأخاديد عميقةً تشهد بوجود فعاليةٍ جيولوجيةٍ ماضية، على حين أن سطحَيْ أمبرييل Umbriel وأوبيرون القاتِمَيْن يبدوان هَرِمَيْن ومثقلَيْن بالفوَّهات، وذلك يوحي بمحدودية النشاط الجيولوجي الماضي فيه.

اكتُشِفتْ بوساطة المركبة ڤوياجر 2 عشرةُ أقمارٍ صغيرة يبلغ قُطرُ أكبرها پَكْ Puck 155 كيلومتراً (96 ميلاً)، ويتركَّب أكثر من نصفها من الصخر والجليد. يرعى القمران پورشيا Portia وروزاليند Rosalind الحلقةَ الخارجيةَ إپسيلون epsilon لإبقائها ضمن منطقة ضيّقة.

(أ) بِمَ يختلف سطحا القمرَيْن آرييل وأمبرييل؟ ....

....

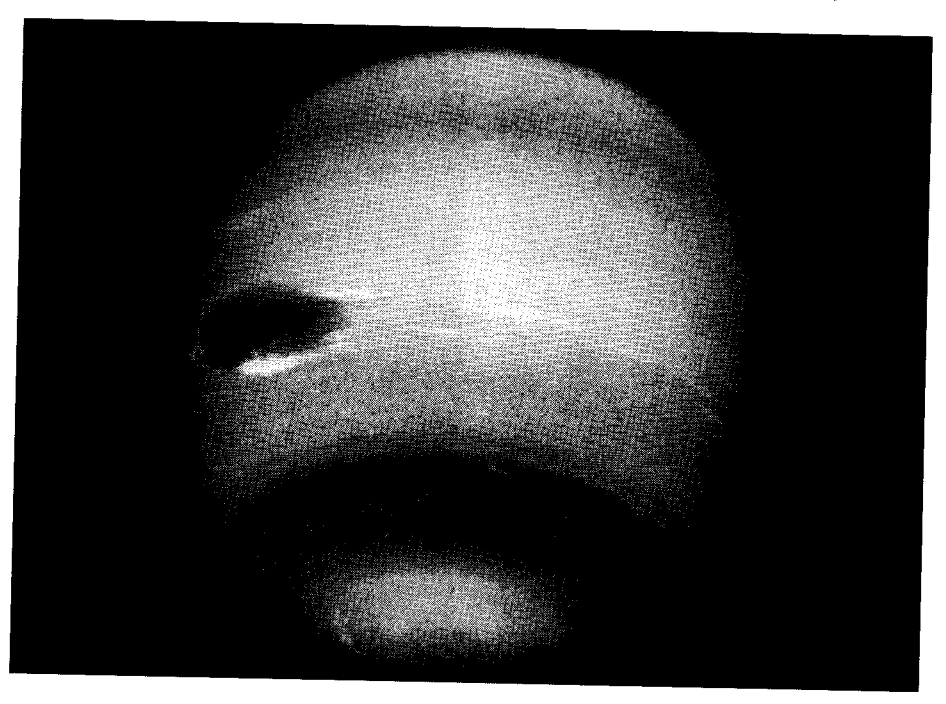
(ب) علامَ تدلّ هذه الاختلافات؟ ....

....

الجواب: (أ) آرييل ساطعٌ كثير الصدوع، تظهر فيه تدفُّقات واسعة النطاق من مادّةٍ جليدية؛ أما أمبرييل فقاتمٌ وهَرِم ومثقَل بالفوَّهات؛ (ب) آرييل: نشاط جيولوجي؛ أمبرييل: ضعف في النشاط الجيولوجي.

20.9 نبتون

عندما حلَّقت مركبةُ ڤوياجر 2 على بُعد 5000 كم (3000 ميل) من نبتون Neptune سنة 1989، كان هذا الكوكبُ أبعدَ الكواكب عن الشمس. وقد أتاحت لنا الصُّوَرُ التي بثَّتها ڤوياجر - وعددها 8000 صورة - إلقاءَ أول نظرة فاحصة على المنظومة النبتونية (الشكل 26.9). وكما في أورانوس، فإن لنبتون غطاءً من سُحُب غليظة من الهيدروجين والهليوم والميتان، يبدو بلونٍ أزرق زاهٍ.



الشكل 26.9 كوكب نبتون كما صوَّرَته مركبةُ الفضاء ڤوياجر 2. الصورة محسَّنةٌ بالكمبيوتر لإظهار التفاصيل الدقيقة. لوحِظَ تغيُّرٌ في مظهر السُّحُب الساطعة بالقرب من البقعة القاتمة الكبرى 1989 في غضون ساعات.

عُدَّ اكتشاف نبتون فتحاً حقيقياً في علم الفلك النظري. فقد لاحظ كلٌّ من الفلكيَّيْن: الإنكليزي جون آدمز John Adams (1819 - 1892) والفرنسي

أوربان لوفيرييه Urbain Leverrier (1811 ـ 1879) أن كوكبَ أورانوس لا يتبع المسارَ الذي يقتضيه قانون نيوتن في الثقالة بدقة، فاستنتجا أن حركته تضطرب بفعل قوةٍ ثقاليةٍ لكوكبٍ آخر مجهول، تنبآ بموقعه في السماء.

وفي سنة 1846 استطاع الفلكي الألماني يوهان غاليه Johann Galle (1822-1910) من مرصد برلين تحديدَ الموضع المتوقَّع، ووجَدَ نپتون فعلاً. سُمِّيَ الكوكبُ نسبةً إلى آلهة البحر عند قدماء الرومان.

ومع أن نپتون ـ وهو أصغر الكواكب الغازية العملاقة ـ لا يتلقّى من ضوء الشمس سوى نسبة 3 في المئة مما يتلقّاه المشتري منه، إلا أنه يتمتع بغلاف جوّيٍّ ديناميّ؛ إذ إن أعتى الرياحِ على أيِّ كوكبٍ هناك تهبُّ جهةَ الغرب، خلافاً لاتجاه الدوران المحوريّ. وتظهر عدة بُقَعٍ دكناء كبيرة، وسُحُبٍ عالية طويلة ساطعة، وخطوطٍ شريطية وأعمدة.

كانت البقعةُ القاتمةُ الكبرى Great Dark Spot 1989 فيما مضى عاصفةً عملاقةً بحجم الأرض (تشبه البقعةَ الحمراءَ الكبرى للمشتري)، طوّافةً حول نپتون مرةً كلَّ 18,3 ساعة. وفي الجوار تهبُّ الرياح بسرعة 2000 كيلومتر (1200 ميل) في الساعة. ثم اختفت البقعةُ القاتمةُ الكبرى 1989 نهائياً، وظهرت بقعةٌ جديدةٌ شمالية هي البقعةُ القاتمة الكبرى Great Dark Spot 1994 التي صوَّرها مقرابُ هَبلْ الفضائي.

يميل الحقل المغنطيسيُّ لنپتون ميلاً كبيراً يبلغ 47° عن محور الدوران، وهذا ينبئ بوجود دفقٍ في باطنه. يتسبَّب الحقلُ المغنطيسيُّ بحدوث إصداراتٍ راديوية وظواهر شفقية ضعيفة.

رَصَدت مركبةُ ڤوياجر أربعَ حلقات تُطوِّق نپتون، وهي منتشرةٌ على مساحة واسعة، ومادتُها رقيقةٌ جداً لم يُفلِح العلماءُ باستبانتها تماماً من الأرض.

لماذا عُدَّ اكتشافُ نبتون فتحاً في علم الفلك النظري؟ ....

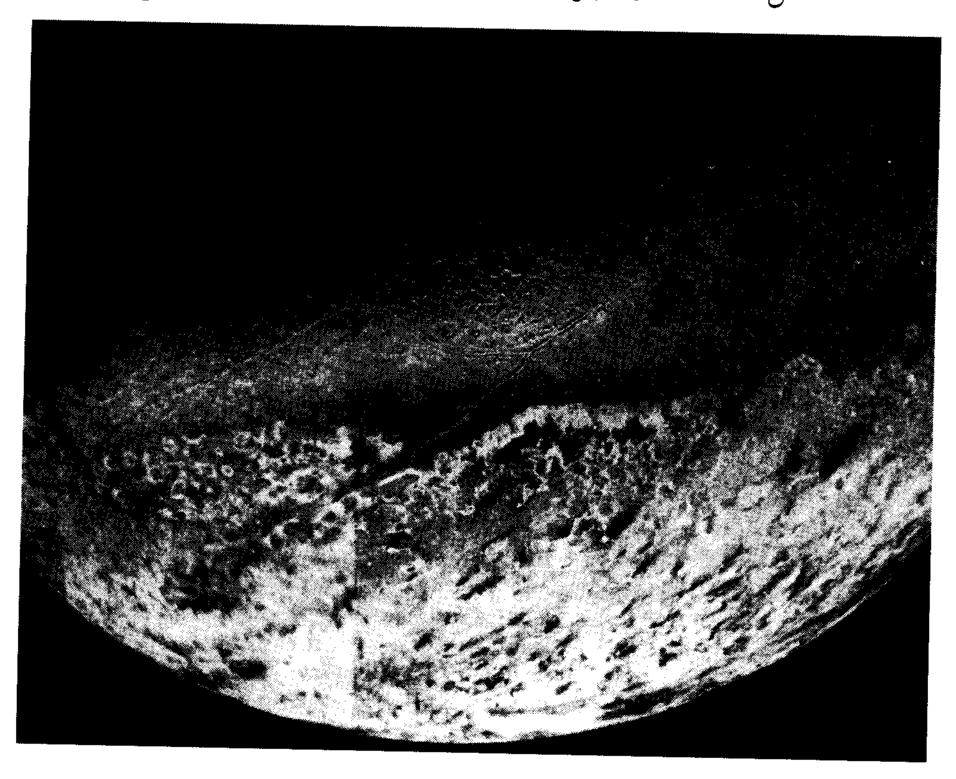
....

....

الجواب: تنبَّأت الدراساتُ النظرية بحتمية وجود كوكبٍ غير مرئي. ثم اكتُشف نبتون فعلاً بالبحث عنه في السماء عند البقعة المتوقَّعة نظرياً.

21.9 أقمار نبتون

لنبتون ثمانيةُ أقمارٍ مؤكَّدة (الجدول 3.8)، أكبرُها وأهمُّها ترايتون Triton (الشكل 27.9). وأظهرتْ معطياتُ مركبة ڤوياجر أنَّ سطحَ ترايتون



الشكل 27.9 ترايتون، أكبر أقمار نبتون، ويظهر منه نصفُ الكرة المواجِه لكوكبه الأم، في تركيبةٍ من 12 صورةٍ بثَّتها مركبة ڤوياجر 2.

يحتوي على ميتانٍ جليديّ، كما كَشَفَتْ قياساتٌ حديثةٌ بالأشعة تحت الحمراء عن وجود غازَيْ أول أكسيد الكربون وثنائي أكسيد الكربون، وعن قطعٍ جليدية من هذا الأخير كذلك. ورُصدت اندفاعاتٌ نشطةٌ شبيهةٌ بنبعٍ فوّارٍ تَقذِف بغازٍ من الآزوت غير المرئي وجُسَيْمات من الغبار الأدكن نحوَ الأعلى مسافةَ عدة كيلومترات في جوِّ الفضاء. واللافت أن درجةَ الحرارة السطحية لترايتون هي أبرد ما رُصِد من مناطق المنظومة الشمسية برمَّتها على الإطلاق، وتبلغ نحو 38 كلڤن (−391° فارنهايتية). ويلاحَظ أن لون قلنسوته القطبية الجنوبية الكبيرة ضاربٌ إلى الوردي، وأنه أميَلُ إلى القتامة والاحمرار اعتباراً من الحافة المثلمة باتجاه الشَّمال، ربّما بسبب تلوُّنه بالضوء فوق البنفسجي وإشعاع غلافه المغنطيسيّ الذي يؤثِّر في غاز الميتان الموجود في غلافه الجوّي وسطحه.

يمتد غلافٌ جوّيٌّ رقيقٌ جداً مسافةً تقارب 800 كيلومتر (500 ميل) فوق سطح ترايتون، الذي يبلغ ضغطه السطحي قرابة 14 ميكروبار، أي 1/ 70،000 الضغط السطحي للأرض. وقد تُكوِّن جُسَيْماتُ الآزوت الجليدي سُحُباً رقيقةً فوق سطحه ببضعة كيلومترات.

ثمة ستة أقمارٍ صغيرة دكناء اكتشفتها مركبةُ ڤوياجر الثانية، تؤْثِر أن تبقى قريبةً من المستوي الاستوائي لكوكب نبتون، وأُطلقتْ عليها أسماء مستمدَّة أيضاً من آلهة الماء في الأساطير القديمة. أكبر هذه الأقمار هو بروتيوس Proteus، ويبلغ قطره 420 كيلومتراً (250 ميلاً). هذه الأقمارُ الصغيرة ـ شأنَ الحلقات ـ يترجَّح أنها شظايا من أقمارٍ أكبر حجماً تحطَّمت في حوادث تصادم.

بالنظر إلى كثافته العالية نسبياً ودورانه التراجعي، قد لا يبدو ترايتون فرداً أصلياً من عائلة نبتون. ماذا عسى أن يكون منشؤه؟ ....

....

الجواب: من المحتمل أن نبتون أَسَرَ ترايتون، في حقبةٍ ما، من مدارٍ شاذٍّ أصلاً.

22.9 بلوتو

بلوتو Pluto - أبعدُ الكواكب المعروفة عن الشمس - عالَمٌ متجمِّد سُمِّيَ نسبةً إلى إله العالَم السفلي عند الإغريق (الشكل 28.9). وهو كوكبٌ خافتٌ جداً يبلغ قَدْره الأعظميُّ +14.

اكتشفه الفلكيُّ الأمريكي كلايد تومباو Clyde Tombaugh (1906 - 1997) سنة 1930 في سياق بحثه عن كوكبٍ مجهول يُفتَرض أن ثقالتَه هي مصدرُ عدم انتظام حركة كوكبَيْ أورانوس ونبتون على مدارَيْهما. ويمكن أن يضيء بلوتو بسطوعه الحالي بفعل انعكاس ضوء الشمس عن الميتان المتجمِّد الممزوج بأنواعٍ أخرى من الجليد الذي يغشى سطحه. وإذا كان الأمر كذلك، فإنه أصغر من الحجم المقدَّر له. والظاهر أن كتلته لا ترقى إلى الجزم بأنه هو الكوكبُ المجهول المقترَح، الذي مازال علماءُ الفلك يؤمِّلون اكتشافَه.

تؤكِّد أرصادٌ حديثةٌ لاحتجابٍ نجميّ stellar occultation أنَّ للكوكب غلافاً جوّياً من غاز الميتان. فقد لوحظ أن ضوءَه يكبو تدريجياً عند مرور نجمٍ خلفه، ثم يعود ضوؤه تدريجياً كذلك، بدلاً من حصول احتجابٍ مفاجِئٍ ثم انكشافٍ مفاجئ.

يطوف قمرٌ كبيرٌ نسبياً، هو كارون Charon، حول بلوتو في مدارٍ صغير يزيد نصفُ قطره الوسطي قليلاً على 19،000 كيلومتر (11،000 ميل) (الجدول 3.8). في سنة 1978 رَصَدَ الفلكيُّ الأمريكي جيمز كريستي James W. Christy القمرَ كارون أوَّلَ مرة فرآه أشبهَ بانتفاخٍ على صورة بلوتو. وتأتي تسميتُه نسبةً إلى النوتيِّ الذي ينقل أرواحَ الموتى عبر نهر الجحيم إلى العالَم

السفلي حسب ما ترويه الأساطير. يدور كارون حول بلوتو في زمنٍ مساوٍ تماماً للزمن الذي يستغرقه الكوكبُ لإنجاز دورةٍ حول نفسه. ومن ثمَّ يمكن لرائد فضاء أن يرى كارون دوماً في موقعٍ واحد من السماء، ومن نصف كرةٍ واحدٍ فقط من بلوتو.

ينفرد بلوتو بأغرب مدارٍ من بين مدارات الكواكب كلها. نذكر من مظاهر شذوذ مداره أنه دنا في سنة 1980 من الشمس حتى غدا أقرب إليها من نبتون، وفي سنة 1989 بلغَ نقطةَ الرأس، وهو اليوم يبتعد عن الشمس. وفي سنة 1999 عَبَرَ بلوتو مسافةَ 6,1 واحدات فلكية فوق مدار نبتون نحو الخارج ليكون أبعدَ الكواكب عن الشمس من جديد.

لا يقتصر تفرُّد منظومةِ بلوتو على قمره ومداره، فمعظم خصائص الكواكب الأخرى فريدٌ أيضاً. حتى إن منشأه في المنظومة الشمسية موضع حيرة؛ فقد يكون في الأصل نواةً كوكبيَّةَ جليديةً ضخمة، أو قمراً منفلتاً من نبتون، أو جِرماً بينجميّاً أَسَرته ثقالةُ الشمس لدى مروره على مقربة دانية منها.

لم تتوجَّه أيُّ مركبة فضائية نحو بلوتو بعدُ، كما أن إرسال مركبات إليه غيرُ وارد في الوقت الحاضر.

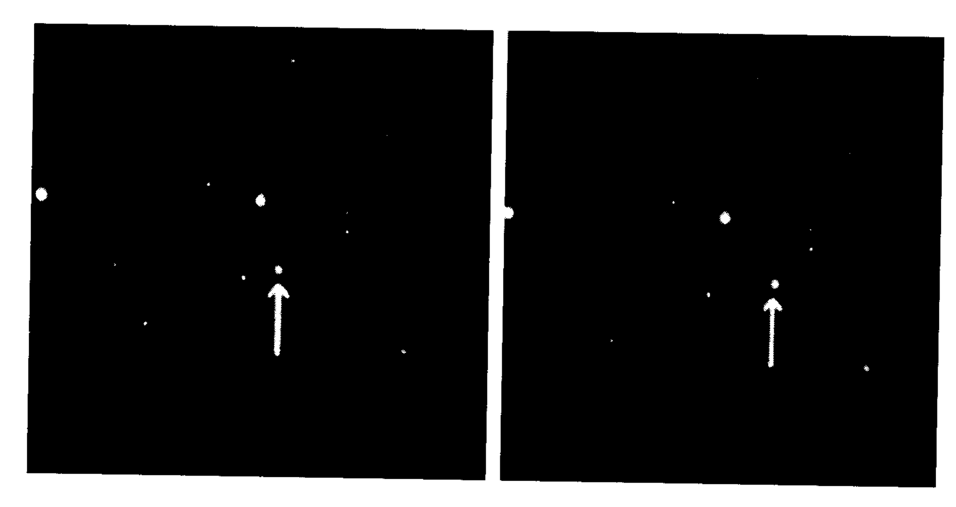
وبالنظر إلى موقع بلوتو النائي من المنظومة الشمسية، فإنه لم يُتِمَّ دورةً واحدة له حول الشمس منذ اكتشافه.

بالاستعانة بالشكل 28.9 حاولْ أن تفسِّر كيف تحقَّقَ علماءُ الفلك أنَّ بلوتو ليس نجماً ....

....

....

....



الشكل 9 .28 صورتان فوتوغرافيتان لپلوتو، تُظهِران حركتَه في غضون 24 ساعة.

الجواب: يتبيَّن من الصُّوَر الملتقَطة لپلوتو في أوقات مختلفة أنه «يغيِّر موقعه» بالنسبة إلى نجوم الخلفية. (بذل مكتشفه تومباو جهداً عظيماً في دراسة الملايين من صُوَر النجوم والكواكب المشتبِهات، استناداً إلى أزواجٍ من الصُّور الفوتوغرافية التُقِطت لأجزاءٍ من السماء في تواريخ متباينة).

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل التاسع وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. فيما يلي سماتٌ معروفةٌ يمكن رصدها بمقرابٍ صغير. انسبْ كلَّ سمةٍ إلى كوكبها.

-- (أ) الأطوار. (1) المرّيخ.

-- (ب) القلنسوتان الجليديتان القطبيتان. (2) المشتري.

-- (ج) البقعة الحمراء الكبرى. (3) زُحَل.

-- (د) الحلقات. (4) الزُّهَرة.

2. اعزُ السِّماتِ المألوفةَ التالية إلى أزواج الكواكب الصحيحة.

-- (أ) حُزُم سُحُبٍ شريطيةٍ متناوبة ومتوازية، دكناء وزاهية. (1) عُطارد والزُّهَرة.

-- (ب) فوَّهاتٌ وجبالٌ كثيرة. (2) المشتري وزُحَل.

-- (ج) أغطيةٌ سحابيَّة غليظة من الهيدروجين والهليوم والميتان. (3) أورانوس ونپتون.

3. اذكر ثلاثةَ أسبابٍ تجعل من الزُّهرة كوكباً غير صالحٍ لارتياده

(1) ....

(2) ....

(3) ....

4. يمثِّل الشكل 29.9 كواكب الزُّهرة والأرض والمرّيخ في أفلاكها حول الشمس. عيِّن الحرف (على الرسم) الذي يدلّ على كلٍّ مما يلي:

(1) الزُّهرة كونه نجم المساء ....

(2) الزُّهرة في طَوْرٍ جديد ....

(3) المرّيخ في وضع تقابل ....

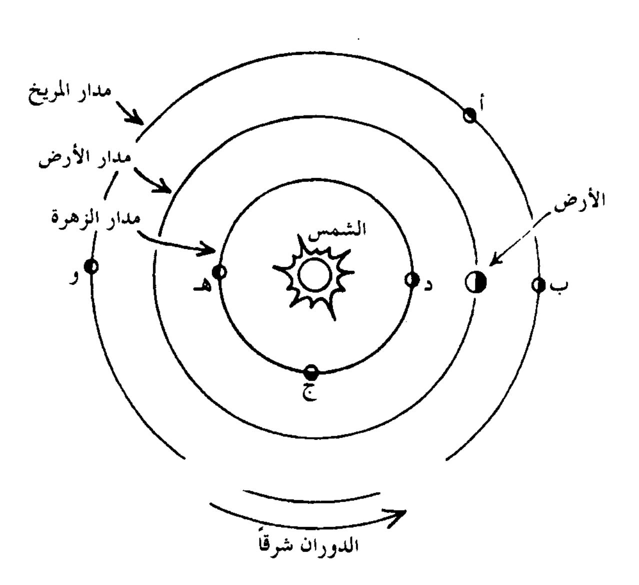
(4) المرّيخ غير مرئي في سماء ليلنا ....

5. أنشئ رسماً تخطيطياً وحدِّد عليه طبقات الأرض الثلاث الرئيسية.

(1) ....؛ (2) ....؛ (3) ....

6. أعطِ ثلاثة أرصاد تعضد نظريةَ تكتونيات الصَّفائح (الانجراف القارّي).

(1) ....



الشكل 29.9 مظاهر كوكبَي الزُّهَرة والمرِّيخ من الأرض.

....

(2) ....

....

(3) ....

....

7. صِفْ مشهدَ المرّيخ وجوَّه ودرجاتِ حرارته في مواقع هبوط المركبات الرَّبوطية عليه ....

....

....

8. اذكرِ اثنين من الأرصاد التي تشير إلى احتمال تدفُّق الماء على المرّيخ في الماضي البعيد.

(1) ....

....

(2) ....

....

9. عدِّد أوفر الغازات وجوداً في الغُلُفِ الجوّية ل:

(أ) الأرض ....

(ب) المرّيخ ....

(ج) المشتري ....

(د) زُحَل ....

(هـ) أورانوس ....

(و) تيتان ....

10. قابِلْ كلاً من مكتَشَفَيْ مركبة ڤوياجر الفضائية بكوكبٍ أو أكثر مما يلي:

-- (أ) حلقة (حلقات) محيطة.
-- (ب) قمر (أقمار) تطوف بالكوكب.

(1) المشتري.
(2) زُحَل.
(3) أورانوس.
(4) نبتون.

11. قابلْ كلاً من الصفات التالية بقمر كوكب.

-- (أ) أكبر أقمار المنظومة الشمسية.
-- (ب) القمر الوحيد الذي يُعرَف له غلافٌ جوّي ملموس.
-- (ج) أكثر الأقمار نشاطاً جيولوجياً وبركانياً.
-- (د) أغرب الأقمار، لاحتوائه على مزيجٍ من السطوح الفتيَّة والهرمة.
-- (هـ) أبرد السطوح، مع وجود اندفاعاتٍ نشِطةٍ شبيهةٍ بنبعٍ فوّار.

(1) غانيميد/ المشتري.
(2) آيو/ المشتري.
(3) ميراندا/ أورانوس.
(4) تيتان/ زُحَل.
(5) ترايتون/ نبتون.

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 3.

(الفقرات 2.9 و 9.9 و 13.9 و 14.9 و 16.9 و 18.9 و 20.9)

2. (أ) 2؛ (ب) 1؛ (ج) 3.

(الفقرات 1.9 و 3.9 و 13.9 و 14.9 و 16.9)

3. (1) جوُّه السامُّ المؤلَّف من ثنائي أكسيد الكربون؛

(2) حرارتُه البالغة (التي قد تصل إلى 900° فارنهايتية)؛

(3) ضغطُه الجوّيُّ الماحق (الذي يتجاوز 90 واحدة ضغط).

(الفقرة 3.9)

4. (1) ج؛ (2) د؛ (3) ب؛ (4) و

(الفقرتان 2.9 و 9.9)

5. الشكل 12.9: (1) القشرة؛ (2) المعطف؛ (3) اللّبّ.

(الفقرة 5.9)

6. (1) تماثل المستحاثات النباتية والحيوانية على امتداد الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب إفريقية.

(2) توافق هذه الخطوط الساحلية بحيث يتمِّم بعضها بعضاً.

(3) عدم وجود صخورٍ في قاع المحيط الأطلسي قرب الخطوط الساحلية أقدم من نحو 150 مليون سنة.

(الفقرة 6.9)

7. يبدو السطحُ كصحراء حمراء جافّة تتناثر فيها الصخور. سماؤه ورديّة اللون، ودرجة حرارته منخفضة.

(الفقرة 10.9)

8. (1) وجود قنواتٍ سطحيةٍ عميقةٍ ومتعرّجة، تبدو وكأنها شُقَّت بفعل أنهارٍ عظيمةٍ متدفّقة.

(2) وجود ماءٍ متجمّد في القلنسوتين الجليديَّتين القطبيَّتَيْن.

(الفقرة 11.9)

9. (أ) الآزوت (نحو 78 في المئة) والأكسجين (قرابة 21 في المئة)؛

(ب) ثنائي أكسيد الكربون؛

(ج) هيدروجين وهليوم؛

(د) هيدروجين وهليوم؛

(هـ) هيدروجين وهليوم، مع بعض الميتان؛

(و) آزوت.

(الفقرات 8.9 و 11.9 و 14.9 و 16.9 إلى 18.9)

10. (أ) 1، 2 ، 3 ، 4 ؛ (ب) 1، 2 ، 3 ، 4

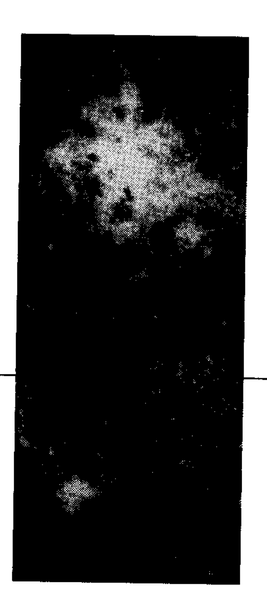
(الفقرات 15.9 و 17.9 و 19.9)

11. (أ) 1؛ (ب) 4؛ (ج) 2؛ (د) 3؛ (هـ) 5

(الفقرات 15.9 و17.9 و 19.9 و 21.9)

10

القـمر



تخافتُ النجوم حول القمر البهي بضوئها وتلزم خدرها عندما ينثر القمر نوره على الأرض بدراً تام الرُّواء.

سافو (نحو 612 قبل الميلاد) المقطع 4

الأهداف:

- تفسير مظهر القمر وحركاته الظاهرية في السماء.
- مقارنة القمر بالأرض من حيث القطرُ، والكتلةُ، ومعدَّل الكثافة، والثقالة السطحية.
- وصف المعالم العامة لسطح القمر.
- بيان أوجه التشابه والتغايُر بين القمر والأرض من حيث النشاط الجيولوجي وعوامل التعرية السطحية.
- عرضٌ مجمَلٌ لفرضيةٍ حول منشأ القمر، بما يتفق والأرصاد العلمية.
- تفسير المنشأ المحتمل للفوَّهات والبحور القمرية.
- وصف أحوال سطح القمر في مواقع هبوط مركبة أپولو عليه.

- عرض النموذج الحالي لبِنية القمر الداخلية.
- طرح تساؤلات وقضايا حول القمر لَمّا تُحسم بعد.
- تحديد المواقع النسبية للأرض، والقمر، والشمس، في أثناء حوادث كسوفٍ وخسوف.

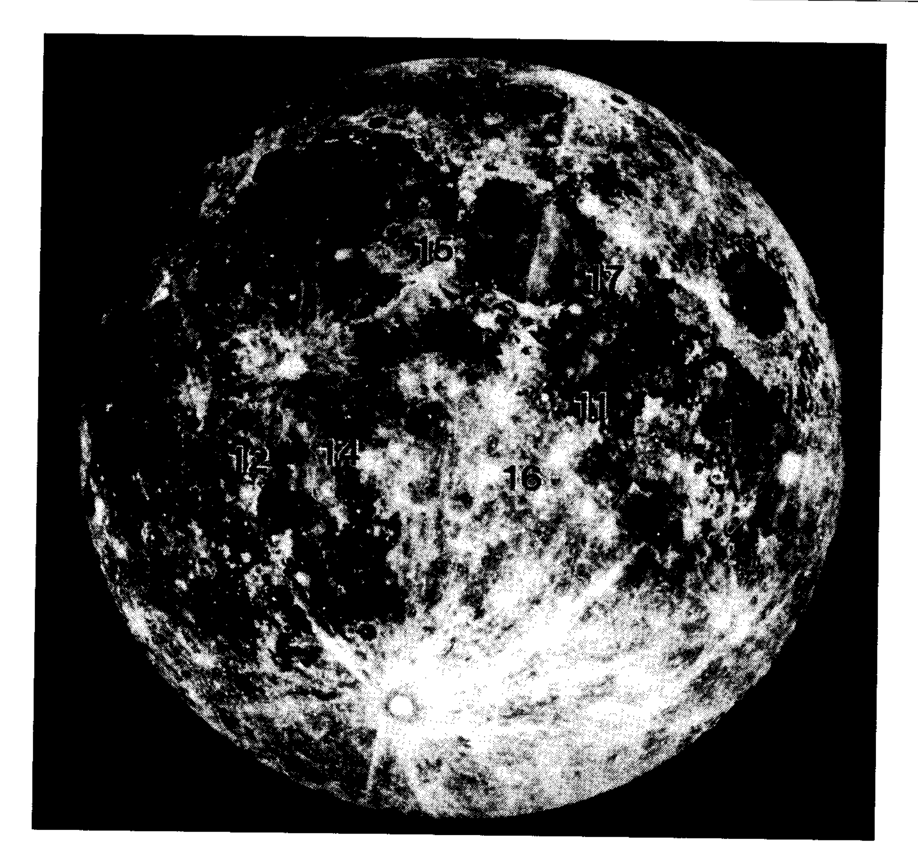
1.10 جارُ الجَنْب

لطالما استهوى القمرُ بسحره قرائحَ الشعراء وقلوبَ المحبِّين. فعند القَدْر -12,5 يكون القمرُ البدر أسطعَ من نجوم القَدْر الأول قرابةَ 25،000 مرة (الشكل 1.10).

ارتبط اعتقادُ الناس في الماضي بالتأثير المباشر للقمر الساطع في السلوك الشخصي للأفراد؛ فراحوا يمارسون طقوساً خاصةً عندما يكون القمرُ بدراً، وأطلقوا أسماءً على آلهة القمر من قبيل: دايانا ولونا وسيليني وسينثيا. حتى إن كلماتٍ مشتقةً من «القمر» من مثل: «moonstruck» (= مختلط العقل)، و«lunacy» (= جنون) كانت تشير في الأصل إلى جنونٍ يتبدَّل مع تبدُّل أطوار القمر.

ونحن نعرف اليوم عن القمر ـ بحكم قربه منّا ـ أكثر مما نعرف عن أيٍّ من أجرام السماء؛ فهو يقع على بُعد 384،400 كم (240،000 ميل) عن الأرض. وقد وصلت مركباتٌ فضائيةٌ ربوطيَّةٌ ومأهولة إلى القمر وحطَّتْ عليه، وبثَّتْ آلافَ الصُّوَر والمعطيات العلمية والعيِّنات من سطحه.

من ذلك رحلاتُ أپولو القمرية Apollo Moon Missions الأمريكية الستّ (1969 ـ 1972) التي أَنزلتْ رجالاً على سطحه، مزوَّدين بمصوِّرات وأجهزة لإجراء تجارب علمية هناك، وعادت بكميات من صخور القمر تزن 380 كيلوغراماً (837 رطلاً إنكليزياً) للدراسة المخبرية. استمرَّت تجهيزات أپولو بإرسال معطيات حتى سنة 1977 عندما أوقفت لأسباب مالية.



الشكل 1.10 القمر بدراً. المواقعُ الستَّةُ، حيث هَبَطَ روَّادُ مركبة أبولو الفضائية الأمريكية، معلَّمةٌ بالأرقام 11 ـ 17. اطلبْ أسماءَ أبرز البحور والفوَّهات والسلاسل الجبلية من خريطة القمر.

ينشر القمرُ نورَه بانعكاس ضياء الشمس عليه[1]. فإذا علمنا أن متوسط النصوع albedo المرئي ـ وهو نسبة ضوء الشمس الواردة التي يعكسها القمرُ في الفضاء ـ لا يتجاوز 11 في المئة فقط، أدركنا أن معظمَ ضوء الشمس الذي يَرِد على سطح القمر العديمِ الهواء يجري امتصاصه.

(1) تنسب العربُ «الضوءَ» إلى الشمس، و«النورَ» إلى القمر. قال الله تعالى في القرآن الكريم: (هو الذي جَعلَ الشمسَ ضياءً والقمرَ نوراً وقدَّره منازلَ لتعلموا عدد السنينَ والحسابَ([يونس 5]. (المعرِّب)

لماذا تعتقد أن القمرَ البدرَ هو أسطع الأضواء في سماء الليل؟ ....

....

....

الجواب: لأنه أقربُ إلى الأرض من سائر الأجرام السماوية الأخرى.

2.10 القمر في السماء

إذا رعيتَ القمرَ بانتظام، لاحظتَ حركتَيْه الظاهريَّتَيْن في السماء، إضافةً إلى أطواره (الفقرة 4.8).

ستلاحظ أن القمر يبزغ من جهة الشرق، ويتحرك غرباً عبر السماء، ويأفل كلَّ يوم، لأن الأرض تدور حول نفسها يومياً.

وستلاحظ أيضاً أن القمر يغيِّر موقعَه بالنسبة إلى النجوم بمقدار 13° شرقاً في كلِّ يوم، لأن القمر يتحرَّك بالنسبة إلى الشمس يومياً، في حين تطوف منظومةُ الأرض - القمر حول الشمس كلَّ سنة (الشكل 2.10).

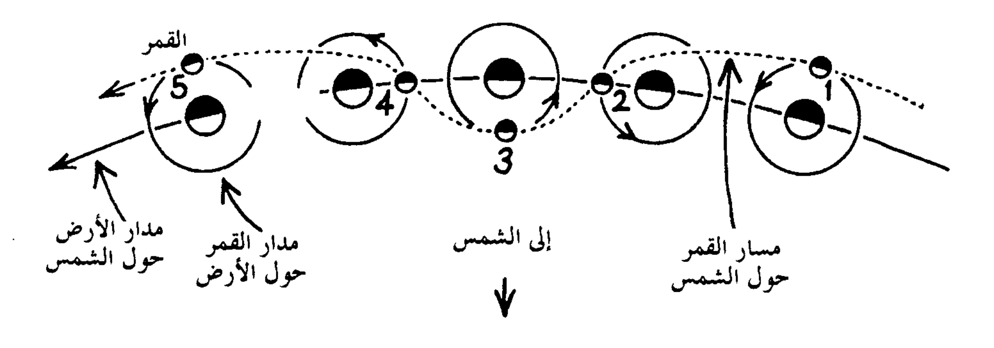
علِّلْ تأخُّرَ بزوغ القمر بنحو 50 دقيقة يومياً عن اليوم السابق ....

....

....

....

الجواب: يقع القمرُ عند بزوغه في برجٍ نجميٍّ معيَّن. وبمرور نحو 24 ساعة، عندما تكون الأرضُ قد أتمَّت دورتها حول الشمس، تبزغ هذه النجوم نفسُها من جديد، لكنَّ القمرَ يكون في هذه الأثناء قد تحرَّك زهاء 13° شرقاً بالنسبة إلى النجوم، ومن ثم لا يبزغ إلا متأخراً.



الشكل 2.10 دورانُ منظومةِ الأرض ـ القمر حول الشمس. ثمة مبالغةٌ في إبراز تموُّج مدار القمر، زيادةً في الإيضاح.

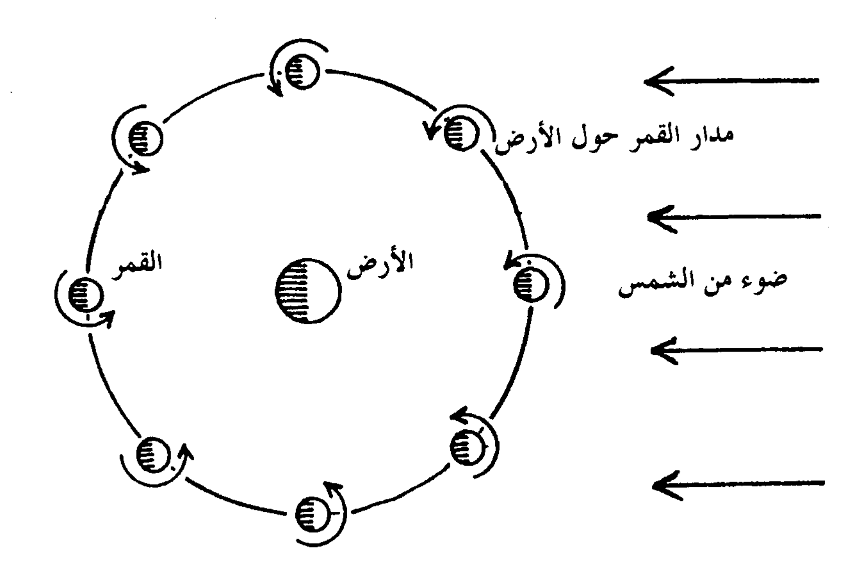
3.10 دوران القمر

إن ثقالة الأرض تبعث القمر على التزام نمطٍ من الدوران يسمّى الدوران المتزامن synchronous rotation؛ ذلك أن القمر يدور على محوره مرةً كل 27,3 يوماً، ويستغرق الزمنَ نفسه تماماً للطواف مرة حول الأرض. وهذا ما يجعل وجهاً واحداً منه في مواجهة الأرض في كل الأوقات (الشكل 3.10).

لاحِظْ أنك ترى السِّماتِ نفسَها لـ «إنسان في القمر» طوال الشهر، دون أن ترى قافيةَ رأسه أبداً. (يبدو أن القرصَ المرئيَّ للقمر يَنْزاح في ظاهرة تسمّى المَيَسان أو التأرجُح libration، ناشئةٍ عن تغيُّرات طفيفة في حركات القمر، وإذن بإمكانك أن ترصد فعلاً نسبةَ 59 في المئة من إجماليّ سطحه طوال الوقت).

وأغلب الظن أن تساوي الدَّورَيْن المحوريّ والمداريّ للقمر ليس محضَ صدفة، بل ثمرة دهورٍ من الاحتكاك المدّي tidal friction.

لماذا اقتصرت قدرةُ الإنسان على رؤية وجهٍ واحدٍ من القمر فحسب



الشكل 10.3 الدوران المتزامن للقمر. إنَّ وجهاً واحداً من القمر يقابل الأرضَ دوماً.

قبل بلوغ مَرْكَباتِ الفضاء وجهَه القصيّ؟ ....

....

الجواب: لأن دَوْرَه المحوريَّ مساوٍ لدَوْره المداريِّ حول الأرض، ومن ثم فإن وجهاً واحداً للقمر يظلُّ مقابلاً للأرض أبداً.

4.10 ظواهر خاصة

بإمكانك أن ترصد تغيُّراتٍ مثيرةً أخرى في مظهر القمر.

فالهالة القمرية lunar halo، أو الحلقةُ المطيفةُ بالقمر ليست في واقع الأمر قريبةً منه على الإطلاق، بل إن بلورات جليديةً في أعالي الغلاف الجوّي الأرضيّ تَكسِر أشعةَ نور القمر لدى اختراقها البلورات، مولِّدةً هذه الظاهرة الهالية.

وعندما يكون القمرُ قريباً من الأفق قد يبدو أحمر اللون. ومن ذاك الموقع ينتقل نورُ القمر مسافةً أطولَ عبر الغلاف الجوّي ليصل إلى عيوننا، منه عندما يكون القمرُ في كبد السماء. ويتألف نورُ القمر (انعكاس ضوء الشمس) كلُّه من ألوانٍ مرئية. تتبعثر أشعةُ القمر القصيرةُ (الزرقاء)، في حين تنبري أشعتُه الطويلةُ (الحمراء) ـ التي تخترق الغلافَ الجوّي بسرعة ويسر ـ لتُسبغ على القمر اللونَ الأحمر.

كذلك يبدو القمرُ البدرُ أكبرَ حجماً عندما يكون قريباً من الأفق، منه عندما يكون في كبد السماء. هذا الإحساس الخاطئ، الذي يُعرَف بظاهرة الانخداع القمري Moon illusion مازال غير مفهوم تماماً حتى الآن، فنحن نعلم بالبداهة أن حجم القمر واحدٌ لا يتغيّر. ولعلَّ هذا الانخداعَ البصريَّ النفسي ناشئ عن مقارنة الراصد للقمر بما يجاوره من أجرام قياساً على النجوم النائية.

يسمّى بدرَ الحصاد harvest Moon الوقتُ الذي يكون فيه القمرُ بدراً قرب موعد الاعتدال الخريفيّ. عندئذٍ يبزغ القمرُ في المساء قبل وقته المعتاد، ناشراً أنواره في أرجاء السماء، ومتيحاً للمزارعين ساعاتٍ إضافيةً لحصد مزروعاتهم. يحدث قمرُ الحصاد عندما تكون الزاويةُ بين فلك البروج والأفق أصغريةً تقريباً.

هل تعتقد أن روّادَ مركبةِ أپولو الفضائية عاينوا «حلقةً تطيف بالأرض» وهم على سطح القمر؟ وضّح ذلك ....

....

....

الجواب: لا. فالحلقة حول القمر وهمٌ تسبِّبه جُسَيْماتٌ جليديةٌ في الغلاف الجوّي للأرض. أما القمر فليس لَه غلافٌ جوّي أو ماء لإحداث هذا الشعور الخادع بوجود حلقةٍ في الفضاء تحدق بالأرض.

5.10 حجم القمر

يُعَدُّ القمرُ تابعاً كبيراً جداً، مقارنةً بحجم كوكبه الأم. يمكن معرفة حجم القمر من القياسات المتعلقة بقطره الزاويّ وبُعده عن الأرض.

يُذكَر أن بُعدَ القمر قد قيسَ بدقة مدهشة بلغت جزءاً من عشرة مليارات (أي بارتياب بضعة سنتيمترات فقط)، وذلك بحساب الزمن الذي يستغرقه شعاعُ ضوء ليزري للوصول إلى مقاريب عاكسة متمركزة على القمر، ثم الإياب.

وُجد أن القطر الاستوائي للقمر هو 3476 كيلومتراً (2160 ميلاً)، مقارنةً بالقطر الاستوائي للأرض، الذي يبلغ 12،756 كيلومتراً (8000 ميل تقريباً).

قارن حجمَ القمر بحجم الأرض ....

الجواب: قطر القمر يقارب ربع قطر الأرض.

طريقة الحل: قطر القمر ÷ قطر الأرض ≅ 3500 كم ÷ 13،000 كم

≅ (2000 ميل ÷ 8000 ميل) = 1/4

6.10 كثافة القمر

تبلغ كتلةُ القمر، المقيسةُ من تغيُّرات السرعة التي يولِّدها القمرُ في المركبات الفضائية، $10^{22} \times 7{,}35$ كغ، أي $\frac{1}{81}$ كتلة الأرض.

ويبلغ متوسطُ كثافة القمر 3,34 طن/م3، أو قرابة $\frac{3}{5}$ متوسط كثافة الأرض.

ولا تزيد ثقالةُ القمر السطحيةُ على نحو 6/1 الثقالة السطحية للأرض، بسبب صغر كتلته وحجمه. ويعني ذلك أن رائدَ فضاءٍ وزنُه على الأرض 84 كغ (180 رطلاً إنكليزياً) مثلاً، لا يزيد على سطح القمر أكثر من 14 كغ (30 رطلاً إنكليزياً).

اقترحْ سبباً لكون متوسط كثافة القمر أقل من متوسط كثافة الأرض ......

....

....

الجواب: من المؤكَّد أن القمرَ مؤلَّفٌ ـ بكامله تقريباً ـ من صخورٍ سيليكاتيةٍ شبيهةٍ بصخورِ قشرةِ الأرض ومعطفِها، وأنه فقيرٌ بالحديد والمعادن الأخرى. (تبيَّنَ من تحليل صخور القمر حتى الآن أنها تتركَّب من العناصر الكيميائية عينِها التي تتركَّب منها صخور الأرض، مع اختلافٍ في النِّسَب).

7.10 معطيات عن القمر

استعرضْ ما عرفتَ حتى الآن من خصائص القمر، باستكمال الجدول 1.10 التالي. قد تحتاج إلى مراجعة الفقرتين 4.8 و 10.8.

الجدول 1.10 خصائص القمر

الكمية	قيمتها
(أ) متوسط البُعد عن الأرض	....
(ب) القطر	....
(ج) الدَّور المداري النجمي (نجوم ثابتة)	....
(د) الدَّور المداري الاقتراني (أطوار)	....
(هـ) الدَّور المحوري	....
(و) الكتلة	....
(ز) متوسط الكثافة	....
(ح) الثقالة السطحية	....
(ط) النصوع	....
(ي) القَدْر الظاهري للقمر البدر	....
(ك) متوسط السرعة المدارية	....

الجواب: (أ) 400،384 كم (000،240 ميل)؛ (ب) 3476 كم (2160 ميلاً)، أي ربع قطر الأرض؛ (ج) 27,3 يوماً (27,321 66 يوماً)؛ (د) 29,5 يوماً (59 29,530 يوماً)؛ (هـ) 27,3 يوماً؛ (و) $7,35 \times 10^{22}$ كغ، أو 1/ 81 كتلة الأرض؛ (ز) 3,34 طن/ م3، أو 3/ 5 متوسط كثافة الأرض؛ (ح) 1/ 6 الثقالة السطحية للأرض؛ (ط) 0,11؛ (ي) -12,5؛ (ك) 1,02 كم/ ثا (2295 ميل/ ساعة).

8.10 رصد القمر

لطالما كان القمرُ هدفاً أثيراً للمناظير العادية والمقاريب البسيطة، بسبب قربه من الأرض بدرجة تسمح برصده رصداً مستفيضاً.

وقد وُضعَتْ خريطةُ القمر في نهاية هذا الكتاب خِصِّيصى لتيسير الأمر عليك في تعرُّف أبرز معالم السطح. وهي تعرض القمرَ كما يظهر في وسط السماء في نصف الكرة الشمالي، وعلى نحوٍ تتوافق فيه اتجاهاتُ البوصلة على خريطتك القمرية مع الاتجاهات السماوية، فالخريطة موجَّهةٌ بحيث يكون الشَّمالُ في الأعلى، أي كما نرى القمرَ بأعيننا المجرَّدة أو من خلال المناظير.

(يبدو القمرُ ـ من خلال كثيرٍ من المقاريب ـ مقلوباً، بحيث يكون الشَّمالُ في الأسفل. وفي حالة روّادٍ على سطح القمر أو في خرائط السطح الطبوغرافية يُقلَب موضعا الشرق والغرب فيقع كلٌّ منهما موقعَ الآخر، كما في الخرائط الأرضية؛ في حين يبقى الشمالُ والجنوبُ بلا تغيير).

عندما وجَّه غاليليو مقرابَه أوَّلَ مرةٍ نحو القمر، توهَّمَ خطأً أن المساحاتِ الدكناء الشاسعة والمسطَّحة نسبياً هي محيطةٌ على القمر، فأطلق عليها اسم البحار maria (مفردها mare).

لم تقعِ الرحلاتُ الفضائيةُ القمريّة على أثرٍ لمياهٍ جاريةٍ على القمر. وما

ظُنَّ وهماً أنه «بحار» تأكَّدَ يقيناً أنه أحواض حمم جافّة تحتوي على البازلت basalt، وهو ضربٌ من الصخر يتولَّد بتبرُّد حُممٍ بركانية مصهورة. وعلى سبيل المثال، يبلغ قطرُ بحر الوابلات Mare Imbrium، وهو أكبر بحار الوجه المرئي للقمر، نحواً من 1100 كم (700 ميل).

يُطلَق على المساحات التي هي أكثر إشراقاً اسمَ النجود القمرية highlands. وهي مناطق أقدم عُمراً وأكثر ارتفاعاً ووعورةً من مناطق البحار. تحتوي النجودُ في المقام الأول على صخورٍ ناريّةٍ زاهية الألوان، وتغطّي زهاء 80 في المئة من سطح القمر.

ما هي البحار التي تؤلِّف معالم «الإنسان في القمر»؟ ....

....

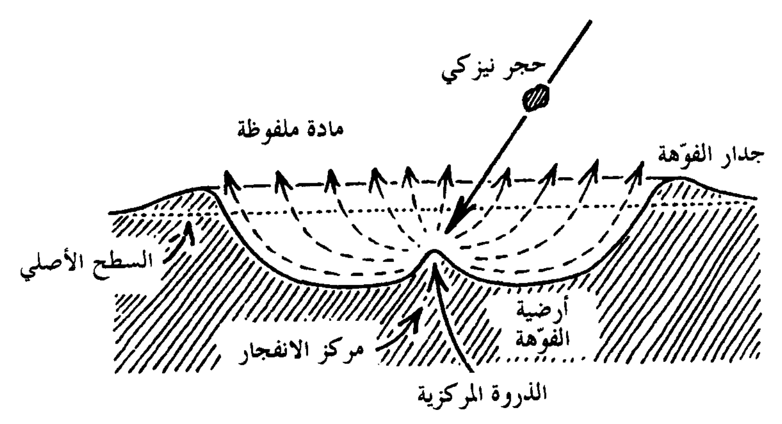
الجواب: أحواض حممٍ جافة ومتصلِّبة.

9.10 فوَّهات القمر

يلاحَظ أن القمر منقوبٌ بفوَّهات craters في سطحه.

جرت العادة على تسمية الفوّهات بأسماء علماء وفلاسفةٍ لامعين أمثال كوپرنيكوس وأفلاطون. أكبر هذه الفوَّهات - من قبيل فوَّهة كلافيوس - مسطَّحة القيعان، ويقارب قطرُها 240 كيلومتراً (150 ميلاً)، وتسمى السهولَ المسوَّرة ذاتَ الجُدُر walled plains. ويُعرَف أصغرها باسم الفويهات craterlets.

تتخذ الفوَّهاتُ النموذجيةُ شكلاً دائرياً، وتتفاوت في حجمها ما بين حفرٍ صغيرة بسيطة وأحواضٍ دائريةٍ هائلة بقطر مئات الأمتار، ذات جُدُر قد يصل ارتفاعُها إلى 3000 متر (10،000 قدم). ويرجَّح أن معظمها قد أحدثَتْه أحجارٌ نيزكيةٌ ضَرَبَت القمر (الشكل 4.10).



الشكل 4.10 تكوُّن فوَّهة صدمٍ نموذجية.

يولِّد الصَّدمُ حرارةً عالية تبخِّر الحجرَ النيزكيَّ نفسَه وبعضَ المساحات التي يخترقها. تتمدَّد المادَّةُ الحارَّةُ المتبخِّرة تمدُّداً عنيفاً وتنفجر مكوِّنةً فوَّهةً دائريةً ذاتَ حافَة عالية وذروة مركزية. تسقط المادةُ الملفوظة بالانفجار حول الفوَّهة وفي جوارها مُحْدِثةً في الغالب فوَّهاتٍ ثانوية أصغر منها.

تنطلق من الفوَّهات خطوطٌ طويلةٌ ساطعة تسمى أشعةً بيضاء[1] bright rays، تمتد مئات الكيلومترات من الفوَّهات البارزة الفتيَّة. وهي في ما يبدو نماذج لتطايُر المادة المقذوفة من الانفجار الناجم عن الصَّدم.

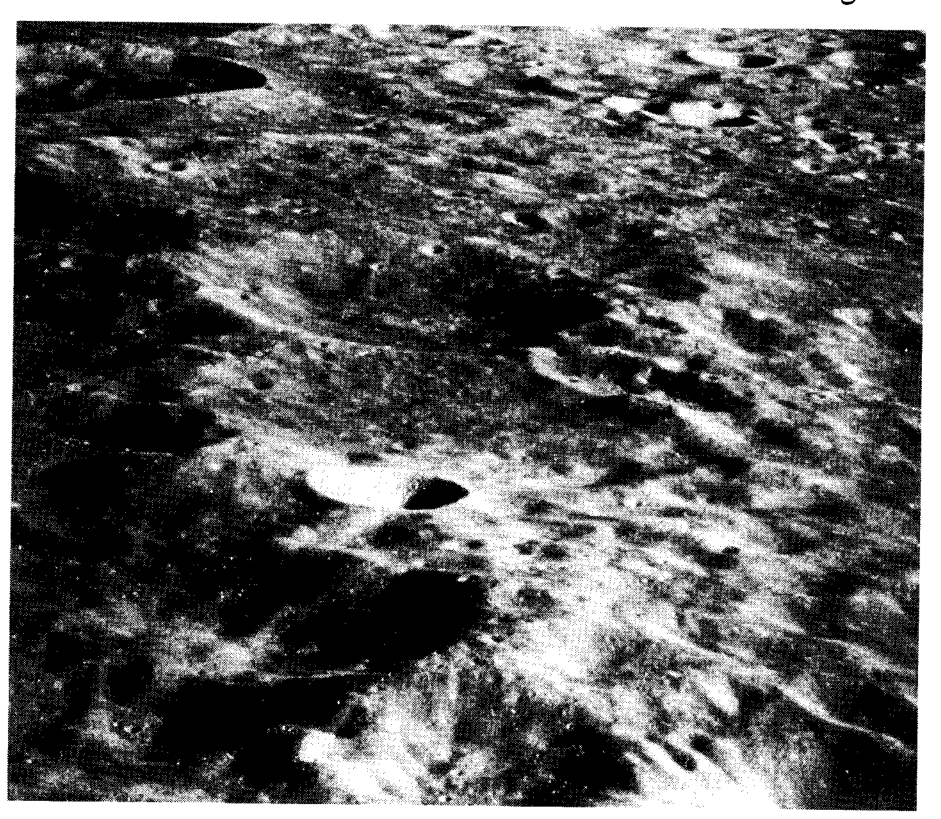
ولعلَّ أنسبَ الأوقات لرصد الفوَّهات والجبال القمرية هو عند وقوعها بجوار خطِّ شروق الشمس أو خطِّ غروبها الذي يسمّى الخطَّ الفاصل terminator. عندئذ يولِّد الارتفاعُ المحدودُ للشمس فوق الأرض ظلالاً تُبرِز تضاريس السطح.

يتحرك خطُّ شروق الشمس الفاصلُ sunrise terminator من اليمين إلى اليسار فوق سطح القمر بين أطواره من الغرَّة إلى البدر. ويفعل خطُّ غروب

(1) تسمّى أيضاً أشعة قمرية lunar rays. (المعرِّب)

الشمس الفاصلُsunset terminator الشيءَ نفسَه بين القمر البدر والغرَّة. وفي الوقت الذي يكون فيه القمرُ بدراً تبرز البحارُ القمريةُ جليَّةً، إلا أن انعدامَ الظلال السطحية يجعل من العسير تمييز تضاريس السطح.

تُظهِر الصُّوَرُ الفوتوغرافيةُ التي وفَّرتها مركباتُ الفضاء احتواءَ الوجه البعيد للقمر على فوَّهات ونجود، وعدم احتوائها على بحارٍ كبيرة يبدو وجودُها واضحاً تماماً على الوجه القريب. ومازال سببُ هذه الفوارق المرصودةِ بين وجهَي القمر: القريب والبعيد مستغلقاً على إدراك العلماء (الشكل 5.10).



الشكل 5.10 الوجه البعيد من القمر كما صوَّرته أوَّلَ مرة المركبة الرَّبوطيةُ الروسية لونا 3 بتاريخ 4 تشرين الأول (أكتوبر) 1959.

ما العامل الذي يُحتمَل أنه أحدثَ معظمَ الفوّهات على القمر ....

....

الجواب: أحجارٌ نيزكيةٌ هَوَتْ وارتطمت في سطحه.

10.10 استكشاف القمر

ما إن وطئ رائد الفضاء الأمريكي نيل آرمسترونغ Neil Armstrong سطحَ القمر أوَّلَ مرة بتاريخ 20 تموز (يوليو) 1969، حتى دخَلَ عالَماً غريباً موحشاً.

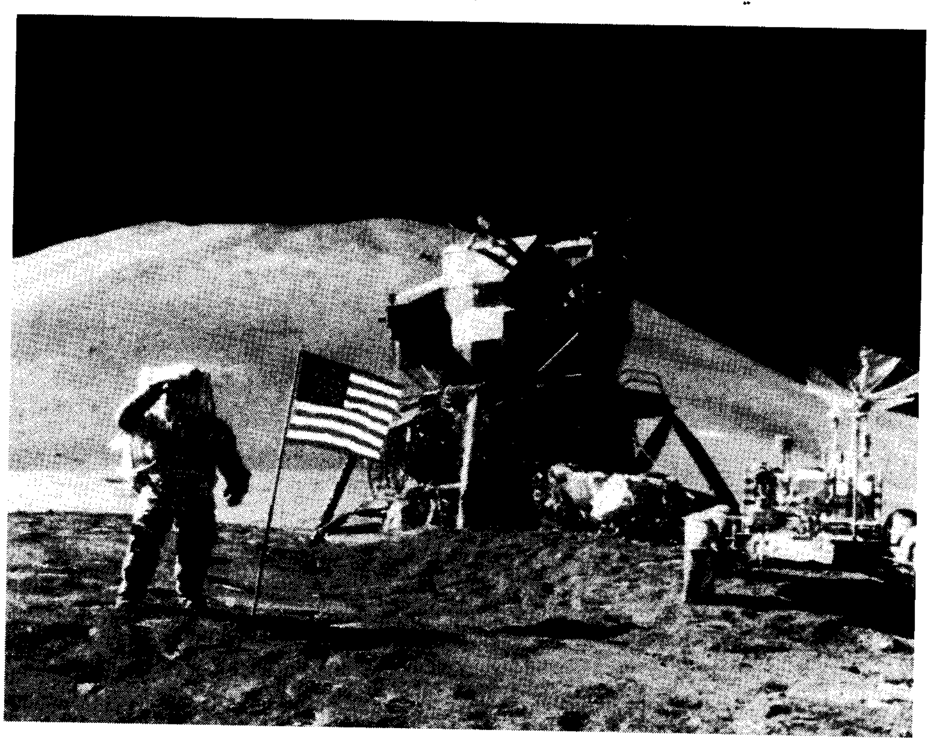
تغطّي كاملَ سطح القمر تربةٌ ذروريّةٌ ناعمة تسمى الغلافَ الحتاتي regolith، الذي تولَّد نتيجةً لتعرُّض سطح القمر مدةً طويلةً لحوادث تصادُم متعاقبة بأحجارٍ نيزكية هشَّمتْ سطحَه إلى صخورٍ متخلخلة تتفاوت في الحجم ما بين حصباء صغيرة وجلاميد عظيمة.

ليس ثمة مياه تجري ولا زروع تنمو. ولم توفِّر الدراساتُ التحليليةُ المعملية لصخور القمر وتربته دليلاً واحداً على وجود ماء أو مستحاثات أو كائنات من أيّ نوع. وفي ظلّ غياب الدليل على الحياة هناك، يخلص العلماءُ إلى أن القمرَ غيرُ ذي حياة، ولم يكن يوماً خلاف ذلك.

ولا تجد فوق القمر سماءً زرقاء أو سُحُباً بيضاء أو أحوالاً جوّيةً ما، بسبب انعدام وجود غلاف جوّيٍّ محسوس. لذلك يسود صمتٌ مُطْبِقٌ في غياب الهواء الذي ينقل الأصوات.

يطول على القمر ليلُه ونهارُه. فكلٌّ منهما يبلغ 14 يوماً أرضياً. وتقع درجةُ الحرارة السطحية عند خط الاستواء بين 120° مئوية (250° فارنهايتية) عندما تكون الشمسُ في أعلى نقطة لها من السماء، و−150° مئوية (−240° فارنهايتية) ليلاً.

هذا وقد دلَّل روّادُ مركبة أپولو على أن القمر قابلٌ لأن يكون مسرحاً للنشاط الإنساني (الشكل 6.10). وفي غضون القرن الحادي والعشرين، قد



الشكل 6.10 أمضى فريقُ مَرْكبة أپولو الأمريكية، المؤلَّف من اثني عشر رائداً، مدةً بلغت في مجموعها 300 ساعة على سطح القمر. ونجح آخِرُ ثلاثة أزواجٍ منهم في قيادة عرباتٍ استكشافيةٍ خاصة لاستطلاع معالم السطح حول مواقع الهبوط.

يتمكن روّادُ فضاءٍ يتمركزون في قاعدةٍ قمرية من إجراء بحوث فلكية وعلمية أخرى، وكذلك من استنباط موارد كالأكسجين والمعادن لرفد عهدٍ جديد من استكشاف الفضاء.

لماذا كان من المجدي إقامةُ مقرابٍ بصريٍّ كبير على القمر؟ ....

....

....

الجواب: في غياب الهواء وأيّ مظاهر جوّيةٍ على القمر يكون جلاءُ الصورة (الفقرة 21.2) عالياً دوماً.

11.10 حوادث الصَّدم

يتمثَّل أكبرُ عوامل حَتِّ سطح القمر في الرُّجُم الدقيقة micrometeorites، وهي حبيباتٌ صغيرةٌ من الصخر والمعدن، تهوي عليه بسرعات قد تصل إلى 113،000 كم/سا (70،000 ميل/سا)، علماً بأن رُجُماً كبيرةً أيضاً تصطدم بالقمر بين حين وآخر.

يشار هنا إلى أن الرُّجُمَ الدقيقة أقلُّ فاعليةً 10،000 مرة، في تغيير معالم سطح القمر، من فاعلية الهواء والماء كعاملَيْ حتٍّ وتعريةٍ على الأرض. فهي لا تزيل أكثرَ من ميليمترٍ واحد من السطح القمري في غضون مليون سنة كاملة.

بيِّنْ لماذا يترجَّح أن يبقى أثرُ قَدم نيل آرمسترونغ على سطح القمر محافظاً على هيئته التي كان عليها سنة 1969 لملايين السنين من الآن (الشكل 7.10) ....

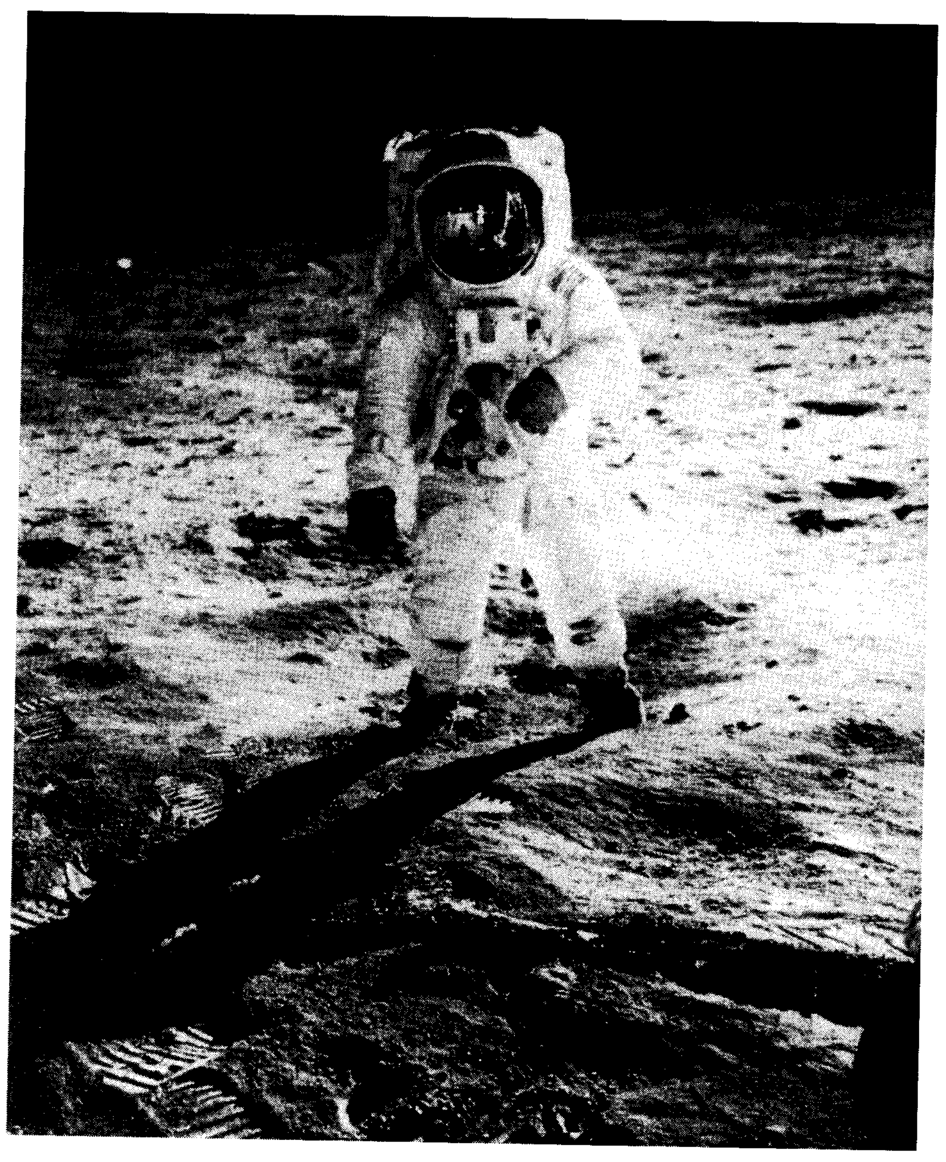
....

....

الجواب: إن الحتَّ على القمر ناجمٌ في المقام الأول عن صَدْم رُجُمٍ صغيرة، وهو يحدث هناك بدرجة أبطأ بما لا يقاس من الحتِّ الناجم عن الهواء والماء على الأرض.

12.10 جبال القمر

سُمِّيت جبالُ القمر بأسماء السلاسل الجبلية العظيمة على الأرض، مثل



الشكل 7.10 الرحلةُ القمرية التاريخية للمركبة أبولو 11. صورةٌ لإدوين آلدرين على سطح القمر، التقطها له زميلُه نيل آرمسترونغ الذي يلاحَظ خيالُه منعكساً في مقدَّم الخوذة المغطّي للوجه.

جبال الألب. وهي تختلف عن جبالنا من حيث التركيب والمظهر العام، لأنها تولَّدت وصيغت بفعل قوىً ذات طبيعة مختلفة.

تسمق أعلى ذُرى جبالِ القمر الوعرة على ارتفاع يتجاوز 8000 متر (29،000 قدم)، بما يقارب ارتفاعَ قمة إڤرست، أعلى جبال الأرض.

ما هما العاملان الرئيسيان اللذان لا يبرحان يعملان في تغيير شكل جبال الأرض، ولا يفعلان ذلك في جبال القمر؟ وكيف؟ ....

....

الجواب: الماء والجوّ. إذ ليس في القمر سيولٌ مائية تنحدر على السلاسل الجبلية، كما تغيب عنه العواصفُ الجوّية التي من شأنها أن تحتَّ السطحَ وتبليه.

13.10 تاريخ القمر

أعاد علماءُ القمر صوغَ قصة حياة القمر، في ضوء ما وفَّرته رحلات أپولو الأمريكية، ولونا الروسية إليه من معطيات.

فقد وجدوا أنَّ أقدمَ الصخور القمرية، مما جُمِعَ من نجوده، يرقى إلى نحو 4,3 مليارات سنة، وأنَّ عُمر بعض الشظايا الصخرية الخضراء الصغيرة يناهز 4,6 مليارات سنة، في حين تَكوَّن أحدثها ـ وهي صخور البحار القمرية ـ منذ قرابة 3,1 مليارات سنة خلت.

أما مكان ولادة القمر وطريقة نشأته، فذانك سرّان يحار فيهما العِلم والعلماء حتى اليوم.

على أن صخور القمر أغنى بالسيليكات وأفقر بالمعادن والعناصر الطيّارة من صخور الأرض. لذلك يُستبعَد أن يكون القمرُ فيما مضى جزءاً من الأرض ثم انفتق عنها، كما ليس ثمة ما يدلُّ على أنه تكوَّن من تنامي جُسَيْمات صغيرة كثيرة في السديم الشمسي.

تقضي فرضيةُ الصَّدْم ـ اللفظ impact-ejection hypothesis الشائعة بأن

جِرماً بحجم كوكبٍ صَدَمَ الأرضَ بُعَيْد تكوُّنها، ونَجَمَ عن الصدم كتلةٌ عملاقةٌ من المادة انفصلت عن الأرض واتَّسعت مؤلِّفة حلقةً حول كوكبنا. تجمَّعت مادةُ الحلقة فيما بعدُ فكوَّنت القمر.

ثم إن القمر الفتيَّ تعرَّض في غضون المليار السنة الأولى من نشأته إلى قصف عنيف من رُجُم نيزكية متباينة الأحجام، أحدثتْ فيه فوَّهاتٍ كبيرةً وصَهَرت سطحَه فاستحال إلى القشرة القمرية الحالية.

وبعد نحو مليار سنة من نشوئه تسخَّنَ باطنُه تسخيناً شديداً بفعل عناصر ذات نشاط إشعاعي. وهَمَرت البراكينُ فيضاً غامراً من الحمم البازلتية الحارّة على السطح وفي الفوَّهات، ثم تصلَّبت الحممُ المصهورةُ وكوَّنت البحورَ القمرية.

تبرَّد القمرُ منذ زهاء ثلاثة مليارات سنة بدرجة كبيرة، وتوقَّف النشاطُ البركاني في معظمه أو كاد. وفي ما عدا بعض دفقاتِ حممٍ ثانوية، وعددٍ محدود نسبياً من فوَّهات الصَّدم الكبيرة، من قبيل فوَّهة كوپرنيكوس الفتيَّة (عمرها مليار سنة تقريباً)، لم يطرأ على القمر أي تغييرٍ يُذكر منذئذ. ولم تسجِّل راسماتُ الزلازل التي أودعها روّادُ مركبة أپولو القمرَ إلا مستوىً منخفضاً جداً من الهزّات القمرية.

يحتفظ سطحُ القمر الجافُّ المستقرُّ العديمُ الهواء برقم تاريخيٍّ قياسيٍّ من الصدمات النيزكية التي حاقت به في سالف الدهور، والَّتي لا بدَّ من أن شطراً كبيراً منها حاقَ بالكواكب الأرضية كافة.

كيف يختلف تاريخُ الفعالية الجيولوجية للقمر عنه للأرض؟ ....

....

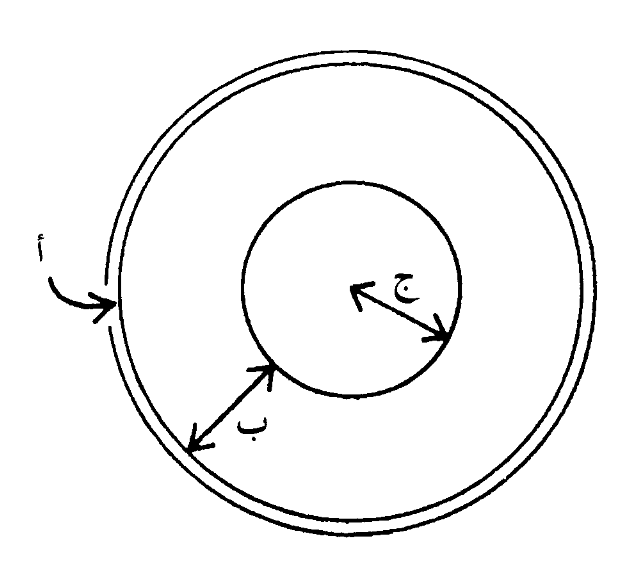
....

....

الجواب: أضحى القمر - بعد ملياريْ سنة من ولادته - في حكم الميت من الناحية الجيولوجية، مقارنةً بالأرض التي مازالت تمور بالحياة من حيث نشاط البراكين وانتصاب الجبال وانجراف القارّات.

14.10 باطن القمر

يرسم علماءُ الجيولوجيا الصورةَ الحاضرةَ لباطن القمر استناداً إلى المعطيات التي توفّرها الرحلات الفضائية. وقد كشَفَتْ قياساتُ حقل الثقالة عن وجود تركيزات كتليّة mascons مغمورة في البحار الدائرية، يدلُّ وجودُها - إضافةً إلى غياب أيِّ نشاط زلزاليٍّ ذي بال - إلى أن للقمر طبقةً خارجيةً، أو قشرةً crust، صُلبةً وسميكةً وباردة. وقد عُلِمَ أن سُمْك هذه القشرة يناهز 60 كيلومتراً (40 ميلاً) على الطرف القريب من الأرض، وأنها أكبر سُمكاً عند طرفه البعيد عنها.



الشكل 8.10 بنية القمر.

تلي القشرةَ طبقةٌ تمتد حتى عُمق 1000 كم (600 ميل) تقريباً تسمى المعطف mantle، ثم اللبّ core الذي يمتد مسافة الـ 700 كم (400 ميل) الأخيرة نحو المركز، ولم تُعرف صفاتُه الفيزيائية حتى اليوم على وجه اليقين، وربما كان مصهوراً جزئياً في درجة حرارة قد تصل إلى 1500 كلفن.

ليس للقمر حقلٌ مغنطيسيٌ حالياً[1]، غير أن دراسةَ صخورٍ قمرية قديمة تشير إلى وجوده في الماضي.

عيِّن على الشكل 8.10 كلاً من القشرة، والمعطف، واللب، واذكر العُمق التقريبيَّ لكل طبقة.

(أ) ....

(ب) ....

(جـ) ....

الجواب: (أ) القشرة: 60 كم (40 ميلاً) على الطرف القريب، وأثخن من ذلك على الطرف البعيد؛ (ب) المعطف: 1000 كم (600 ميل)؛ (ج) اللبّ: 700 كم (400 ميل).

15.10 أحوال السطح

مازالت التساؤلاتُ عن القمر كثيرة. وتشير المعطياتُ التي أتاحتها الرحلةُ القمريةُ الأمريكية كليمانتين Clementine (1998) إلى وجود صقيع في أعماق الفوَّهات عند القطبَيْن. ويُنتظَر إجراءُ بحوثٍ معمَّقة واستكشافاتٍ تتناول سطحَ القمر، وكذلك تحليل مزيد من مادته في المستقبل القريب.

لخِّص ما تعلَّمتَه حتى الآن حول سطح القمر ....

(1) يستتبع ذلك أن رائد فضاءٍ تائهاً على سطح القمر لن يستفيد من بوصلةٍ يحملها! (المعرِّب)

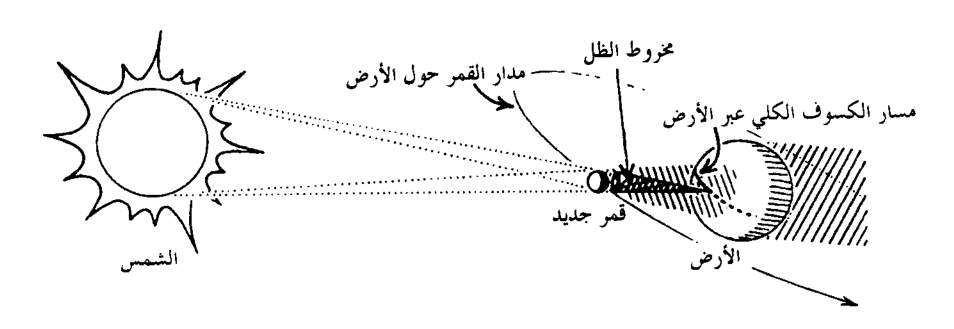
....

....

الجواب: ضَمِّنْ فقرتك وصفَ بحار القمر، وفوَّهاتِه، وسلاسله الجبلية، وغياب الهواء والماء فيه، وطول نهاره وليله، ودرجاتِ حرارته السطحية.

16.10 كسوف الشمس

يحدث الكسوفُ الشمسيُّ solar eclipse عندما تقع الأرضُ والقمرُ الجديد والشمسُ طردياً على استقامة واحدة (الشكل 9.10).



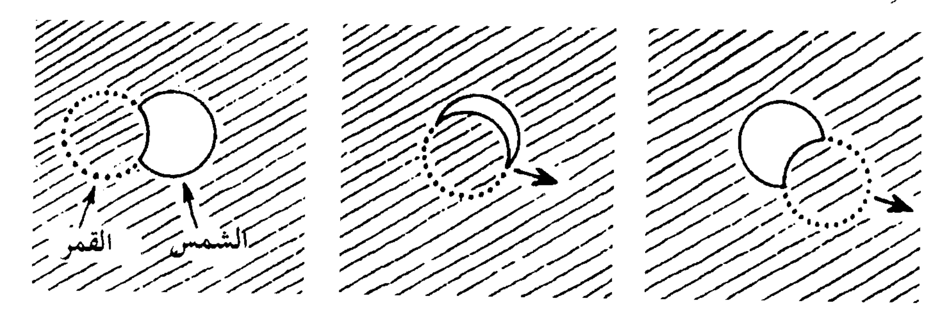
الشكل 9.10 الكسوف الشمسي (دون التقيُّد بمقياس رسمٍ معيَّن).

يوصَف الكسوفُ بأنه كلِّي total عندما يكون القمرُ أقربَ إلى الأرض من طول مخروط ظلِّه. عندئذ يبدو القمرُ أكبرَ من الشمس، ويحجب قرصَها عن الرؤية تماماً.

لا يدوم الكسوفُ الكلّي أكثر من بضع دقائق (7,5 دقائق كحدٍّ أقصى)، ولا يمكن رصده إلا من أماكن متعاقبةٍ على طول مسارٍ منحنٍ ضيِّقٍ (لا يزيد عرضُه على بضع مئات الكيلومترات) يقع ضمن ظلِّ القمر على الأرض.

ووفقاً للحسابات الفلكية، يُتوقَّع حدوثُ كسوف شمسيٍّ كلّي آخر بتاريخ 16 تموز (يوليو) من سنة 2186.

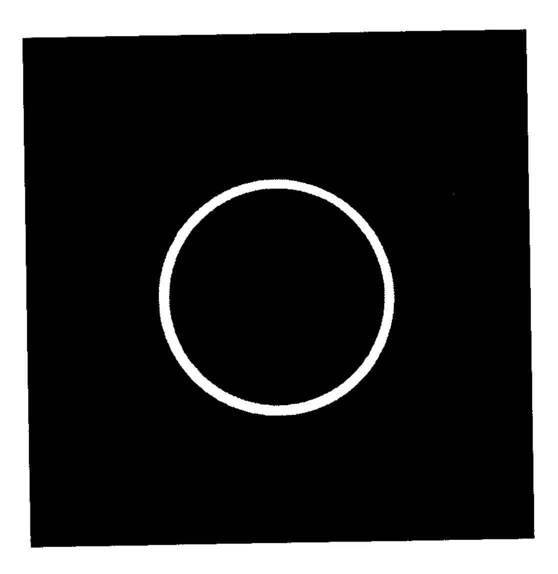
وعلى مساحةٍ أوسع تحاذي جانبَيْ مسار الكسوف الكلّي، يُرى كسوفٌ جزئي partial eclipse. وقد يُرى هذا النوع من الكسوف أيضاً عندما لا يقع القمرُ على مقربة كافية من خطّ الشمس ـ الأرض كيما يتمكن من حجب كاملِ قرص الشمس (الشكل 10.10).



الشكل 10.10 رسمٌ تمثيليٌ للكسوف الجزئي.

ويحدث الكسوفُ الحلقي annular eclipse عندما يكون القمرُ أبعدَ عن الأرض من طول مخروط ظلّه، فيبدو القمرُ أصغر من الشمس، ويحجب قرصَها الساطعَ كلَّه إلا حلقةً خارجيّةً من ضوئها (الشكل 11.10).

ولا ريب في أنَّ لمشهد الكسوف الكلّي سحراً أخّاذاً مشوباً بالجلال! فعند مرور القمر أمام الشمس الساطعة تنتشر ظلمةٌ غير اعتيادية في أرجاء السماء، وتنخفض درجةُ الحرارة، وتلاحَظ النجومُ والكواكبُ ساطعةً في رائعة النهار. وقد ارتبط اختفاءُ الشمس عند بعض الشعوب فيما مضى بحوادث شؤم وطِيَرة تنذر بالويل والثبور. أما اليوم فيحرص الفلكيون ـ محترفين وشداةً ـ على ألا يفوّتوا على أنفسهم الفرصة، ولو اقتضى الأمرُ انتقالَهم مسافاتٍ بعيدةً حول العالم، بغية رصد هذا الحدث النادر واستقصاء معطياتٍ فلكية مهمة منه.



الشكل 11.10 الكسوف الحلقي.

وطبيعيٌّ أن تكون فُرَصُك لرصد كسوفٍ كلّي وأنت في بلدتك نادرةً جداً، ذلك لأن احتمال حصوله في موقعٍ معيَّنٍ على الأرض لا يعدو مرةً واحدة كل 360 سنة، وهذا ضئيل كما ترى. فلعلَّ من المجدي لك - إن كنتَ من المهتمين - أن تنظر في الانضمام إلى حملةٍ تستكشف حوادث الكسوف زماناً ومكاناً، لتحظى بشهود هذه الظاهرة الطبيعية المثيرة. ويدرج الجدولُ 2.10 أهمَّ حوادث الكسوف الكلّي المقبلة، ومواعيدها المتوقَّعة.

ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمرُ لكي يحصل كسوفٌ شمسي؟

....

الجواب: قمر جديد.

17.10 خسوف القمر

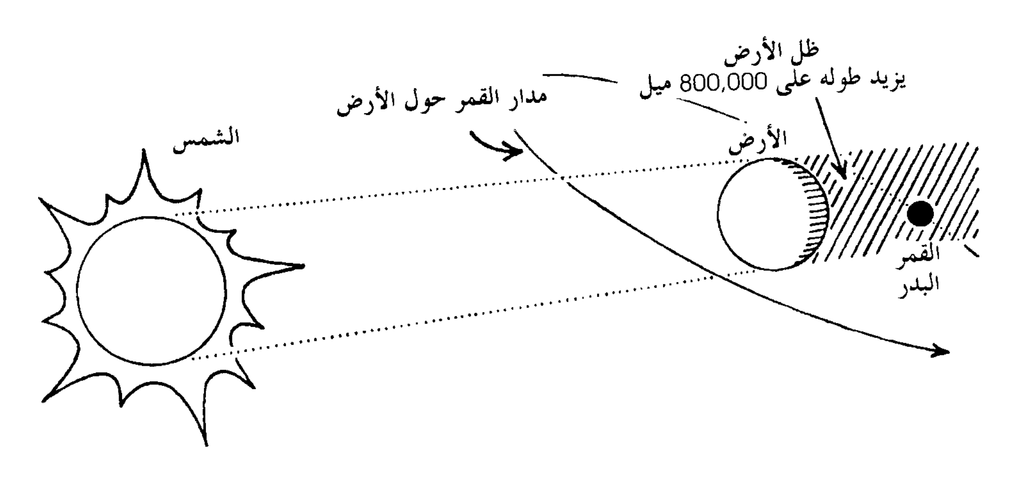
يحدث الخسوفُ القمريُّ lunar eclipse عندما تقع الشمسُ والأرضُ والقمرُ البدر طردياً على استقامة واحدة (الشكل 12.10).

الجدول 2.10 حوادث الكسوف الكلّي

التاريخ	مدة الكسوف الكلّي (ثوانٍ : دقائق)	المكان المتوقع لرصده
2001 21 حزيران (يونيو)	4:57	جنوب الأطلسي، أفريقيا
2002 4 كانون الأول (ديسمبر)	2:04	جنوب أفريقيا، أستراليا
2003 23 ـ 24 تشرين الثاني (نوفمبر)	1:57	القارة القطبية الجنوبية
2005 8 نيسان (أبريل)[1]	0:42	جنوب المحيط الهادئ
2006 29 آذار (مارس)	4:07	أفريقيا، آسيا
2008 1 آب (أغسطس)	2:27	القارة القطبية الشمالية، روسيا، الصين
2009 22 تموز (يوليو)	6:39	الهند، الصين، جنوب المحيط الهادئ
2010 11 تموز (يوليو)	5:20	جنوب المحيط الهادئ، أمريكا الجنوبية
2012 13 تشرين الثاني (نوفمبر)	4:02	أستراليا، جنوب المحيط الهادئ
2013 3 تشرين الثاني (نوفمبر)[1]	1:40	المحيط الأطلسي، أفريقيا

يُظلِم القمرُ عندما يدخل في ظلِّ الأرض، إلا أنه مع ذلك يَمضي في إصابة شيءٍ من ضوء الشمس الذي ينكسر حول الأرض بتأثير غلافها الجوّي. تؤثِّر السُّحب والغبارُ والتلوُّث في لون مظهر القمر ودرجة سطوعه، فتجعله ذا لونٍ أحمر كامد.

(1) كسوف هجين hybrid eclipse، أو كسوف حلقي/كلّي. يتغيَّر الكسوفُ من كلّيٍّ إلى حلقيّ، والعكس بالعكس، عند أجزاء مختلفة من المسار عندما يُحدِث تقوُّسُ سطح الأرض تغيُّراً كبيراً في بُعد القمر.



الشكل 12.10 الخسوف القمري (دون التقيُّد بمقياس رسمٍ معيَّن).

ومنذ ما يزيد على ألفَيْ سنة، لاحظَ الإغريقُ أن ظلَّ الأرض يبدو - في أثناء خسوف قمري - دائرياً على القمر. وقد ساقَ الفيلسوف أرسطو Aristotle (384-322 قبل الميلاد)[1] هذا الدليل تعزيزاً لنظريتِه القائلة بأن الأرض كرويةٌ لا منبسطة. كذلك عَرَضَ الفلكيُّ إيراتوستينيز Eratosthenes (نحو 276 ـ 194 قبل الميلاد) أولَ قياسٍ لقطر الأرض تميَّز بدرجة معقولة من الدقّة.

إن فُرَصَ رصْد خسوفٍ قمريٍّ كلّي أكبرُ بكثير من فُرَص رصْد كسوفٍ شمسيٍّ كلّي (الجدول 3.10). فالخسوف - عندما يحدث - يمكن رؤيته من أيِّ مكان على الأرض ينير فيه القمر. وتدوم حوادث الخسوف مدةً أطولَ بكثير من حوادث الكسوف؛ إذ ستبلغ أطول مدةٍ لخسوفٍ كلّيٍّ مرتقَب ساعةً

(1) كَتَبَ أرسطو في رسالته «حول السماوات» On the Heavens متنوعةٌ هي الأشكال التي يبدو عليها القمر كلَّ شهر: فقد يبدو مستقيماً أو محدودباً أو منقعراً. أما في أحوال الخسوف فمقوَّسٌ دوماً. ولما كان توسُّط الأرض [بين الشمس والقمر] هو الذي يُحدِث الخسوف، فإن شكل هذا الخط [المقوَّس] يحدِّده شكلُ سطح الأرض، فهي إذاً كروية.» (المعرِّب)

كاملة و 47 دقيقة بتاريخ 16 تموز (يوليو) 2000[1].

ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمرُ لكي يحصل خسوفٌ قمري؟.

....

الجواب: قمرٌ بدر.

الجدول 3.10 حوادث الخسوف الكلّي

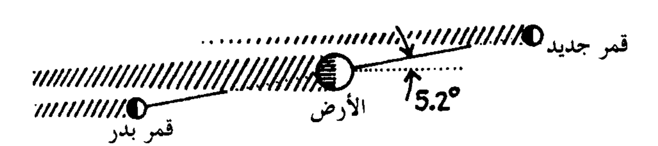
التاريخ	مدة الخسوف الكلّي (بالدقائق)	مرئي من أمريكا الشمالية
16 2000 تموز (يوليو)	107	لا
9 2001 كانون الثاني (يناير)	60	لا
16 2003 أيار (مايو)	52	نعم
8 2003 ـ 9 تشرين الثاني (نوفمبر)	22	نعم
4 2004 أيار (مايو)	76	لا
28 2004 تشرين الأول (أكتوبر)	80	نعم
3 2007 آذار (مارس)	74	لا
28 2007 آب (أغسطس)	90	لا
21 2008 شباط (فبراير)	50	نعم
21 2010 كانون الأول (ديسمبر)	74	نعم
15 2011 حزيران (يونيو)	101	لا
10 2011 كانون الأول (ديسمبر)	52	نعم

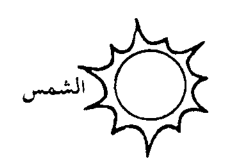
(1) حدث فعلاً. (المعرِّب)

18.10 أوقات الخسوف والكسوف

إن أكبر عددٍ لحوادث كسوفٍ وخسوف قد تحدث في عامٍ واحد هو سبعة.

لا يحدث الكسوفُ والخسوف بالضرورة كلما كان القمرُ جديداً أو بدراً، لأن مدار القمر يميل على مستوي مدار الأرض بمقدار 5,2°. وإذ يقعُ القمرُ معظمَ الشهور فوقَ خط الشمس ـ الأرض أو تحته في طورَي القمر الجديد والقمر البدر، فلا يمكن أن يحدث أيّ كسوف أو خسوف لهذا السبب (الشكل 13.10).





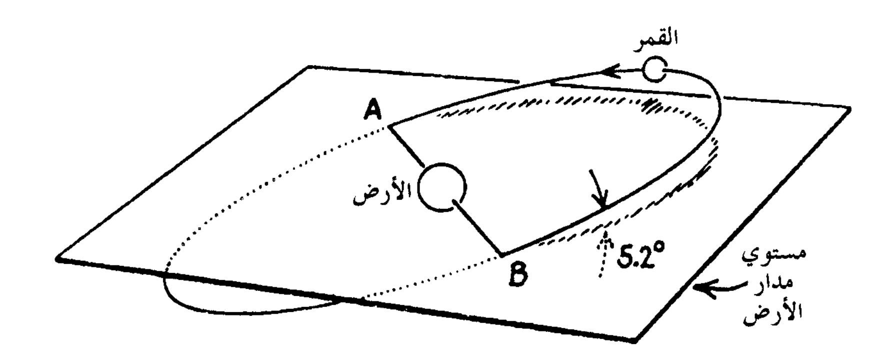
الشكل 13.10 أحوال غير مؤاتية لحدوث الخسوف والكسوف.

يعبر مدارُ القمر مستوي مدار الأرض عند نقطتين تسمَّيان العقدتَيْن nodes. تتحرك هاتان العقدتان ببطءٍ غرباً، في ما يسمّى تراجُع العقدتَيْن regression of the nodes، بسبب الجذب التثاقلي للشمس.

أَنعِمِ النظرَ في الشكل 14.10، وعلّل لماذا لا يحدث الخسوف إلا عندما يكون القمرُ عند النقطة A أو النقطة B ....

....

الجواب: عندئذ تكون الشمسُ والأرضُ والقمر واقعةً طردياً على استقامة واحدة.



الشكل 14.10 يميل مستوي مدار القمر بمقدار 5,2° على مستوي مدار الأرض.

19.10 الاحتجاب

الاحتجاب occultation هو استتار جِرمٍ سماوي خلف آخر.

والاحتجاب بواسطة القمر هو أكثر هذه الحوادث وقوعاً وأيسرها رصداً؛ فكثيراً ما يمرُّ القمرُ بين الأرض ونجمٍ أو كوكب، مسبِّباً اختفاءه فجأةً ثم ظهوره من جديد بعد مرور القمر. هذا مع العلم بأن توقُّعات الاحتجاب القمري متوفرةٌ في المنشورات الفلكية الحالية (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب).

إذا كان كوكبُ المشتري أكبرَ من القمر أربعين مرةً أو يزيد، فكيف يمكن أن يحتجب المشتري بالقمر؟ ....

....

الجواب: يبدو المشتري أصغر من القمر، لأنه أبعد عنّا منه بكثير.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل العاشر وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. لماذا يرى الراصدون على الأرض وجهاً واحداً من القمر دوماً؟ ....

....

2. كم - على وجه التقريب - تبلغ نسبة القمر إلى الأرض من حيث ....
(أ) قطره؟ ....؛ (ب) كتلته؟ ....؛
(ج) معدَّل كثافته ....؛ (د) ثقالته السطحية؟
....

3. قابِل المعالمَ القمريةَ التالية بأسمائها:

-- (أ) أحواض حممٍ جافّة.
-- (ب) ثقوب في السطح.
-- (ج) مناطق زاهية مرتفعة ووعرة وقديمة.
-- (د) كُتَل مغمورة من المادة.

(1) فوّهات.
(2) نجود.
(3) بحار.
(4) تركيزات كتلية.

4. هَبْ أنك على رأس حملةٍ علميةٍ ترود سطحَ القمر. أيُّ الأدوات التالية قد يكون مفيداً؟ (أ) خزانات أكسجين إضافية؛ (ب) مسدس ناريّ وشعلات حرارية ؛ (ج) مصباح كشّاف؛ (د) بوصلة مغنطيسية ؛ (هـ) عيدان ثقاب؛ (و) خريطة نجميَّة ؛ (ز) مظلَّة ؛ (ح) ساعة يد؛ وضِّح إجابتك ....

....

....

5. ما هو المنشأ المرجَّح لمعظم الفوَّهات على سطح القمر؟ ....

....

6. لماذا كان تغيُّر معالم السطح أبطأَ بكثيرٍ جداً على القمر منه على الأرض؟ ....

....

....

....

7. كم عُمر أقدم صخور القمر ممّا جُمِعَ من سطحه؟ وكم عُمر أحدثها؟

(أ) ....

(ب) ....

8. مثِّلْ برسمٍ تخطيطيٍّ باطنَ القمر، وعيِّن طبقاتِه الثلاث الرئيسية.

(أ) ....

(ب) ....

(ج) ....

9. اذكر ثلاثَ مسائل تتَّصل بالقمر لَمّا تُحسَم بعد.

(1) ....

....

(2) ....

....

(3) ....

....

10. ما الطَّور الذي يجب أن يكون فيه القمر لكي يحصل (أ) الكسوف؟ ....؛ (ب) الخسوف؟ ....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. لتساوي دورَي القمر: المحوري (حول نفسه) والمداري (حول الأرض)، وهذا ما يسمى بالدوران المتزامن. (الفقرة 10.3)

2. (أ) 1/ 4 قطرها؛ (ب) 1/ 81 كتلتها؛ (ج) 3/ 5 كثافتها؛ (د) 1/ 6 ثقالتها السطحية.

   (الفقرات 10.5 إلى 10.7).

3. (أ) 3 ؛ (ب) 1؛ (ج) 2 ؛ (د) 4. (الفقرات 10.8 و 10.9 و10.14)

4. (أ)؛ (ج)؛ (و)؛ (ح). لما كان القمرُ عديمَ الهواءِ والماءِ والحقلِ المغنطيسي، فإن شيئاً مما يتطلَّب ذلك لن يكون مفيداً. (الفقرات 10.8 و 10.10 و 10.14)

5. أحجارٌ نيزكيةٌ صَدَمَتْ سطحَ القمر. (الفقرة: 10.9)

6. ليس ثَمَّ هواءٌ ولا ماء يُحدِث حتّاً أو تآكلاً على القمر كما هو الحال على الأرض، كما لا يوجد نشاطٌ جيولوجيٌّ في القمر مشابهٌ لما هو عليه في الأرض. وتُعدُّ الرُّجم النيزكيةُ الصغيرة التي تهوي على القمر أهمَّ عوامل الحتّ على سطحه. (الفقرات 10.11 إلى 10.13)

7. (أ) نحو 4,6 مليار سنة؛ (ب) 3,1 مليار سنة. (الفقرة 10.13)

8. على الشكل 10.8: (أ) القشرة؛ (ب) المعطف؛ (ج) اللبّ. (الفقرة

14.10 والشكل 8.10)

9. (1) ما هو التركيب الكيميائي للسطح في أماكن بعيدةٍ عن مواقع هبوط مركبتَيْ أپولو ولونا؟

(2) هل توجد مياه أو أيّ موادّ طيّارة أخرى (ربما أوجدتها الأحجارُ النيزكية أو المذنَّبات) متجمِّدةٌ في المنطقة القطبية؟

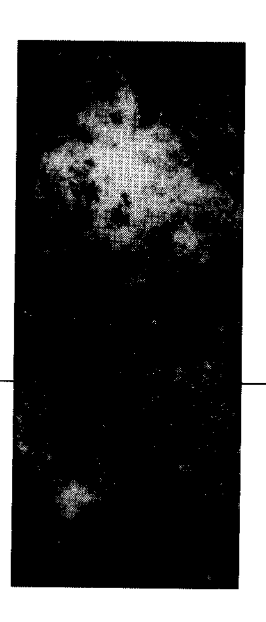
(3) كيف نشأ القمر؟ (لعلك فكَّرتَ بمسائل أخرى).

(الفقرات 6.10 و 13.10 إلى 15.10)

10. (أ) قمر جديد؛ (ب) قمر بدر. (الفقرتان 16.10 و 17.10)

11

المذنبــات والشهــب والأحجار النيزكية



عندما يموت الفقراء المعدمون لا يُرى أثر لمذنبات مضيئة تشيّعهم؛ في حين تلتهب السماء كلها وتضج لموت الأمراء.

وليام شكسبير (1564 ـ 1616)

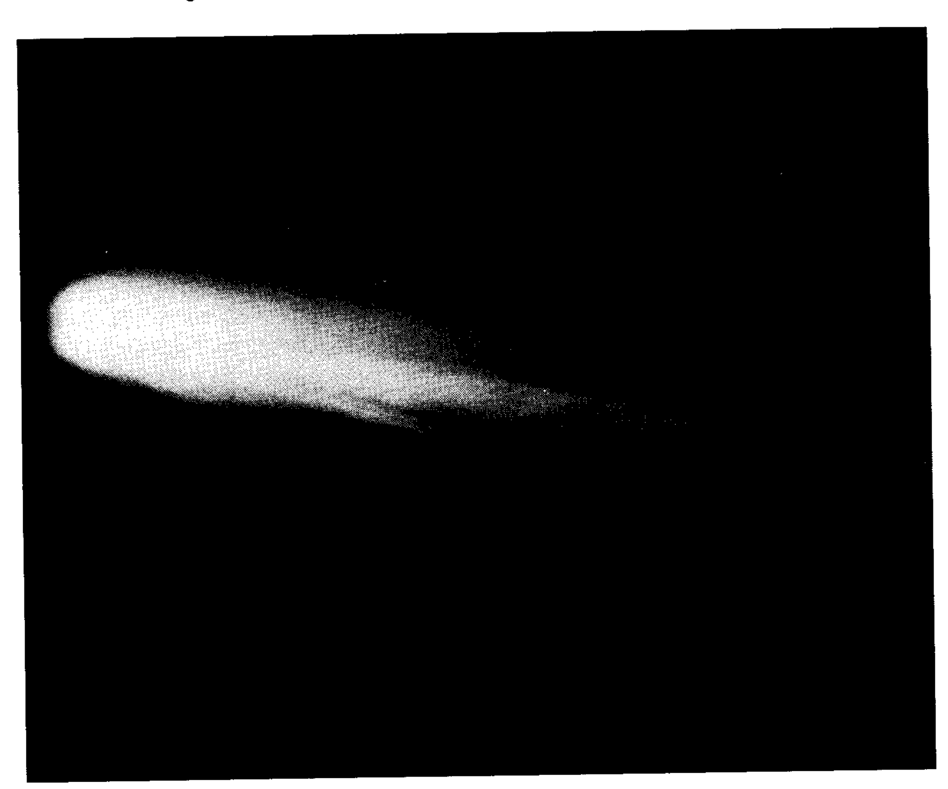
Julius Caesar, II, ii:30

الأهداف:

- بيان سبب أهمية المذنَّبات والأحجار النيزكية للعلماء.
- وصف النظرية الحالية لمنشأ المذنَّبات وتركيبها.
- تفسير التغيُّرات التي تطرأ على مَظهر المذنَّب بتغيُّر بُعده عن الشمس، على أساس النموذج الحاليّ لبنْيَة المذنَّب.
- تحديد العلاقة بين المذنَّبات ووابلات الشُّهُب.
- التمييز بين النيزك، والشهاب، والحجَر النيزكي.
- بيان تركيب الأحجار النيزكية ومنشئها المحتمل.
- ذِكر بعض الآثار المحتمَلة على الأرض لحادثة صدمٍ كبرى بمذنَّبٍ أو بحجرٍ نيزكي.

1.11 المذنَّبات

مابرحت المذنَّباتُ الساطعةُ تَرُوْعُ الناسَ بسحرها (الشكل 1.11). هذه الأجرام الناريَّة المظهر - خلافاً للنجوم المألوفة - تظهر وتختفي على نحوٍ غير متوقَّع. ويَرقَى سجلُّ المذنَّبات الساطعة إلى القرن الرابع قبل الميلاد، وظهورُها مرتبطٌ تاريخياً بما تثيره في نفوس الناس من الهلع، لما يعتقدونه من أنها نُذُرُ كوارث إنسانية وشيكة كالحروب والمجاعات وغيرها.



الشكل 1.11 مذنَّب هالي الشهير كما ظهر بتاريخ 16 آذار (مارس) سنة 1986، أي بعد خمسة أسابيع من أحدث مرورٍ له بنقطة الرأس (الأوج)

ونحن نعلم اليومَ علم اليقين أن المذنَّبات comets عناصرُ جليديةٌ من أفراد منظومتنا الشمسية، تطوف في مدارات إهليلجية حول الشمس، وتخضع

لقوانين الفيزياء الأساسية، ولا تنطوي على أية دلالاتٍ فوق طبيعيةٍ على الإطلاق.

(أ) ما الانطباعُ السائدُ لدى العامة تاريخياً حول المذنَّبات؟ ....

....

(ب) ما هي الرؤيةُ الفلكيةُ الحديثة للمذنَّبات؟ ....

....

الجواب: (أ) كان يُنظَر إلى المذنَّبات على أنها إرهاصاتٌ فوق طبيعية تُنْذِر بشدائدَ إنسانية مُحْدقة؛ (ب) المذنَّبات عناصر جليدية تنتمي إلى المنظومة الشمسية، وتسري عليها قوانينُ الفيزياء الطبيعية، ولا تنطوي على أية مفاهيم مخبوءة.

2.11 أهمية المذنَّبات

للمذنَّبات التي تظهر في سمائنا أهميةٌ خاصة، حتى وإن لم تكن ساطعة، وتكمن أهميَّتُها في أنها ربما كانت الأجرامَ الوحيدةَ الباقية، الحاملةَ للمادة الأصلية التي تكوَّنت منها المنظومةُ الشمسية برمَّتها منذ نحو خمسة مليارات سنة. فالأرضُ، والقمر، وسائرُ الأجرامِ السماوية شهدتْ تغيُّرات جذريةً بفعل عمليات تكتونية وعوامل حتٍّ وحوادث صدمٍ كثيرة، ولم يبقَ من الأجرام على حاله يومَ وُجِد سوى المذنَّبات.

ومذنَّب هالي Comet Halley من أكثر المذنَّبات التي كانت ـ ومازالت ـ محلَّ دراسة وبحث، علماً بأن العلماء يفترضون أن لسائر المذنَّبات التركيبَ نفسه. من أجل ذلك انبرى علماء وباحثون في خمسين دولةً لنشر أكثر تجهيزاتهم تقدُّماً على الأرض وفي الفضاء، في حملةٍ دوليةٍ لرصد مذنَّب هالي International Halley Watch في أثناء ظهوره سنة 1986. وهم يزمعون إرسال مركبات فضائية

مستقبلية للقاء مذنَّب آخر ودراسته عن قرب لسنوات كثيرة.

مِمَّ تنبع أهميةُ المذنَّبات؟ ....

....

....

الجواب: إنها مصدرُنا الأمثل لرصد المادة الأصلية التي منها تكوَّن كلُّ ما في المنظومة الشمسية.

3.11 بنية المذنَّب

سُمِّيت المذنَّباتُ بهذا الاسم تبعاً لمظهرها؛ فكلمة Comet تقابل باليونانية واللاتينية كلمتَيْن (هما kometes و cometa على الترتيب) تعنيان «ذو الشعر الطويل».

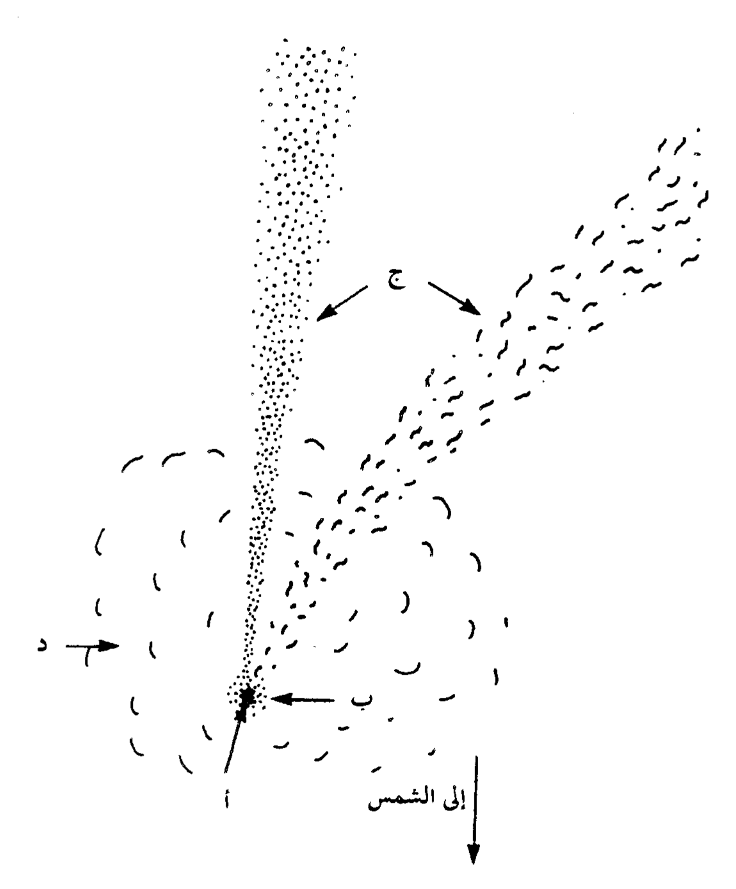
يُرى للمذنَّب الساطع في جوِّ السماء رأسٌ ذو لبٍّ نجميِّ الشكل يسمى النواة nucleus تحيط بها هالةٌ متوهجةٌ تسمى الذؤابة coma، وذيول tails طويلةٌ شفافة. أما النواة فيبلغ قطرها عدة كيلومترات؛ وأما الذؤابة فقد تمتد 100،000 كم (60،000 ميل) أو أكثر خارج النواة؛ وأما الذيول فتنتشر ملايين الكيلومترات في الفضاء.

وتدلُّ أرصادٌ فوق بنفسجية أُجريتْ من مَرْكبات فضائية على وجود سحابة هيدروجينية hydrogen cloud عظيمة مغلِّفة، لا تُرى من الأرض، قد يبلغ قطرُها عشرات ملايين الكيلومترات.

عُدْ إلى الشكل 2.11 وعيِّن الأقسامَ الرئيسية لمذنَّبٍ ساطعٍ نموذجي:

(أ) ....؛ (ب) ....؛ (ج) ....؛ (د) ....

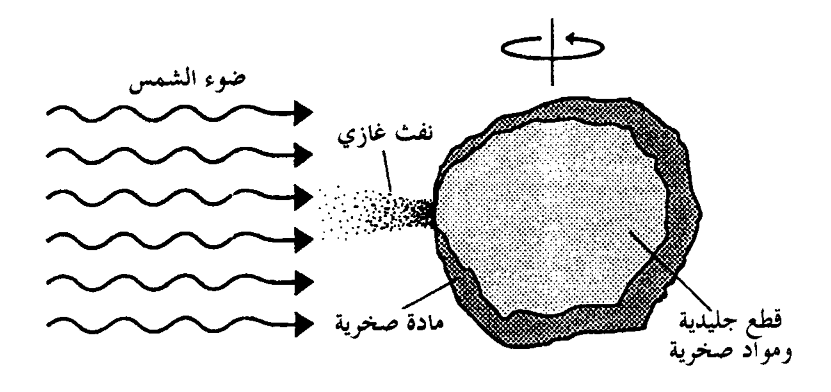
الجواب: (أ) النواة؛ (ب) الذؤابة؛ (ج) الذيول؛ (د) السحابة الهيدروجينية.



الشكل 2.11 أقسام المذنَّب الرئيسية.

4.11 النواة

يترجَّح أن مليارات المذنَّبات تطوف بعيداً في أقاصي المنظومة الشمسية، لكنك لا تستطيع رؤيتَها من الأرض؛ فهي لا تسطع في السماء إلا إذا تحرَّكت قريباً من الشمس. يُذكَر أن أكثر النماذج الوصفية قبولاً لمذنَّبٍ نموذجي هو ما يطلق عليه اسم نموذج كرة الثلج الملوَّثة dirty snowball model الذي اقترحه الفلكيُّ الأمريكي فْرِدْ ويپل Fred Whipple سنة 1950 (الشكل 3.11).



الشكل 3.11 نموذج «كرة الثلج الملوَّثة» لمذنَّب.

فعندما يكون المذنَّبُ في أقاصي المنظومة الشمسية، يكون مؤلَّفاً من نواة فقط، ويتميَّز بشكلٍ وسطحٍ غير منتظمَيْن. تتألف النواة في المقام الأول من جليدٍ مائي وغازات متجمِّدة أخرى («الثلج»)، ممزوجة بأجسام صُلْبة حجرية أو معدنية («الوسخ»)، وتكون كثافتُها وثقالتها السطحيةُ منخفضتَيْن جداً.

في رحلة تاريخية رائدة، أطلقتْ وكالةُ الفضاء الأوروبيةُ European Space Agency (ESA) مَرْكبةَ الفضاء الرَّبوطية غيوتو Giotto، التي غاصتْ في رأس مذنَّب هالي واخترقتْه حتى باتت على بُعد 600 كيلومتر (375 ميلاً) من النواة الجليدية الدوّامة، واختبرتْ عيِّنات من الغبار والغاز مباشرةً، وبثَّتْ راديوياً معطيات إلى الأرض لتحليلها.

وقد عُثِرَ على أن النواةَ سوداءُ قاتمةٌ بقياس 8 × 15 كم (5 × 9 ميل) تقريباً، وتدور حول نفسها مرةً كل نحو 2,2 يومين.

ووُجد أيضاً أنَّ من مظاهر عدم انتظام سطح المذنَّب وجود شقوقٍ وفلوق وفوَّهات محتملة، وأنَّ نحو 10 في المئة من السطح يحتوي على صدوعٍ تنبثق منها نفثاتٌ من الغبار والغاز - ولاسيما بخار الماء - باتجاه

الشمس، في حين تغطِّي باقي السطح طبقةٌ غباريةٌ سوداء قاتمة عازلة قُدِّرت ثخانتها بنحو سنتيمترٍ واحد، يَغلب أنها تَخلَّفتْ عن انطلاق غازات طيّارة من خلال ممراتٍ كثيرةٍ للمذنَّب حول الشمس.

وتبيَّنَ أن نسبة 80 في المئة من حجم الغازات المنطلقة من النواة هي بخار ماء، إضافةً إلى مركَّبات أخرى، منها ثنائي أكسيد الكربون، وأحادي أكسيد الكربون، والنشادر، والميتان؛ وأنَّ بعض حبيبات الغبار هي من السيليكات، في حين أن بعضَها الآخر يحتوي فقط على عناصر الكربون والهيدروجين والأكسجين والآزوت.

ويثير فضولَ العلماء وجودُ الكربون في مذنَّب هالي على شكل جزيئاتٍ عضويةٍ معقَّدة، قد يكون لها أهميةٌ بيولوجيةٌ خاصة.

ممَّ تتألَّف نواةُ المذنَّب؟ ....

....

....

الجواب: يصف نموذجُ كرة الثلج الملوَّثة نواةَ المذنَّب بأنها مؤلَّفةٌ في معظمها من جليدٍ مائي وغازاتٍ متجمِّدةٍ أخرى ممزوجةٍ بموادَّ صلبة.

5.11 ذؤابة المذنَّب

عند دخول نواة مذنَّب من حافَة المنظومة الشمسية مسافةً تبعد عن الشمس بضعَ مئات ملايين الكيلومترات، تَسخن هذه النواة، وتتسامى الغازاتُ، وتنفلتُ إلى الفضاء مع غبارٍ من سطحها. ولما كانت قوةُ ثقالة المذنَّب أضعفَ بكثير من أن تكبح انطلاق الغازاتِ والغبار، تتمدَّد هذه نحو الخارج حول النواة بقطر آلاف الكيلومترات، مؤلِّفةً ذؤابةَ المذنَّب.

يضيءُ المذنَّبُ عندما تَتَفَلْوَر الغازاتُ ويعكس الغبارُ ضوءَ الشمس.

ويستعمل الفلكيون مقاريب كبيرة لرصد نحو 25 من بقع الضوء الضبابيّة هذه كلَّ سنة.

ما سبب نشوء الذؤابة؟...

....

الجواب: حرارة الشمس (التي تتسبَّب في تسامي جُسَيْمات الغاز والغبار وتمدُّدِها).

6.11 الذيول

عند اقتراب مذنَّبٍ من الشمس، فقد يؤلِّف ذيولاً من الغازات والغبار المنطلقة من النواة.

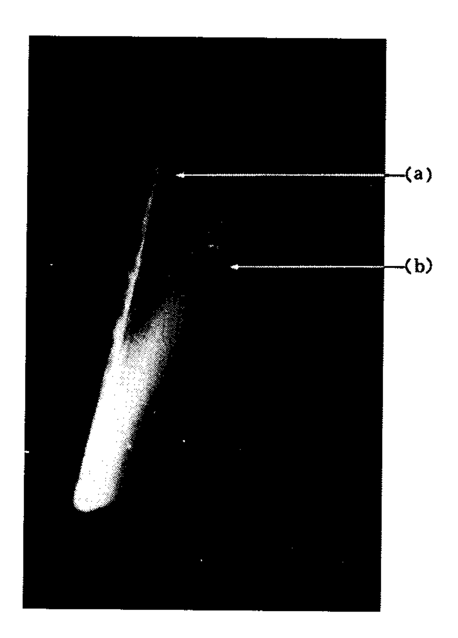
يفكِّك الإشعاعُ فوق البنفسجي الغازاتِ إلى جذورٍ حرّة (شظايا جزيئية وأيونات). تتآثر interact الأيوناتُ والجسيماتُ المشحونةُ المنطلقةُ من الشمس في الريح الشمسية، وتنجرف الأيوناتُ في آخر المطاف ملايين الكيلومترات لتؤلِّف ذيلاً غازيّاً gas tail أو ذيلاً أيونياً ion tail.

إن ضوءَ الشمس الشديد الذي يسقط على جُسَيْمات الغبار يُكسِبُها قوةً صغيرةً تسمى ضغطَ الإشعاع radiation pressure. يَدفعُ ضغطُ الإشعاع جُسَيْماتِ الغبار نحو الخارج بعيداً عن الشمس. يستمرُّ المذنَّب في الحركة على حين يبدأ ذيلٌ غباريٌّ dust tail بالتقوُّس خلفه، علماً بأن ذيولَ المذنَّبات رقيقةٌ جداً بحيث يمكن رؤيةُ النجوم في الطرف الآخر من خلالها.

تُواصِلُ الجزيئاتُ والذّراتُ المحايدةُ تَمَدُّدَها نحو الخارج بدءاً من النواة، إلى أن تتأيَّن. تكوِّن ذرَّةُ الهيدروجين (التي هي أكثرُ الذرّات شيوعاً) سحابةَ الهيدروجين الهائلة. وقد لوحظَ في مذنَّب هالي أن سحابةَ الهيدروجين المحيطةَ بنواته قد تعاظمت إلى قطرٍ يناهز عدةَ مئات الآلاف من الكيلومترات.

رُصِدتْ آثارُ أيونات الهيدروجين التي حرَّرَها مذنَّبُ هالي في الريح الشمسية من مسافة 35 مليون كم (21 مليون ميل) من النواة. كما لوحظ ما يسمى الصَّدمة القوسيَّة bow shock - وهي موجة صَدْم تنشأ حيث تعمل غازاتُ المذنَّب على إعاقة الريح الشمسية وإبطائها - من مسافةٍ تقارب 400،000 كم (240،000 ميل) أمام المذنَّب.

في الشكل 4.11، عيِّن الذيلَ الغازي (الأيوني)، والذيلَ الغباري، واذكر سببَ تكوُّن كلٍّ منهما.



الشكل 4.11 مذنَّب مركوس بذيلَين نموذجيَّين.

(أ) ....

(ب) ....

الجواب: (أ) الذيل الغازي؛ الريح الشمسية؛ (ب) الذيل الغباري؛ ضغط الإشعاع.

7.11 اختفاء المذنَّب

لا يمكن التنبُّؤ بمصير المذنَّب مادام يتسارع بلا هوادة مقترباً من الشمس. فقد تَصْدر عن نواته نفثاتٌ غازيةٌ وغباريةٌ عنيفةٌ تفضي إلى تغيير حركته المدارية.

وإذا طاف المذنَّبُ حول الشمس دورةً كاملة، استمرَّ على مداره عائداً إلى الفضاء الخارجيّ القارس. تتخلَّف بعضُ مادة المذنَّب في حين يتجمَّد الباقي من جديد، وتختفي الذؤابةُ والذيول.

تَمرُّ بعضُ المذنَّبات على مقربة دانية جداً من الشمس المضطرمة، تودي بها فتتحطَّم أو تتفكَّك. وقد يحدث أحياناً أن يهويَ أحدُها داخل أتون الشمس مباشرةً ولا يبقى لَه أثر.

بالاستعانة بالشكل 5.11 علِّلْ لماذا تعود المذنَّباتُ إلى الفضاء الخارجيِّ بذيولها أولاً ....

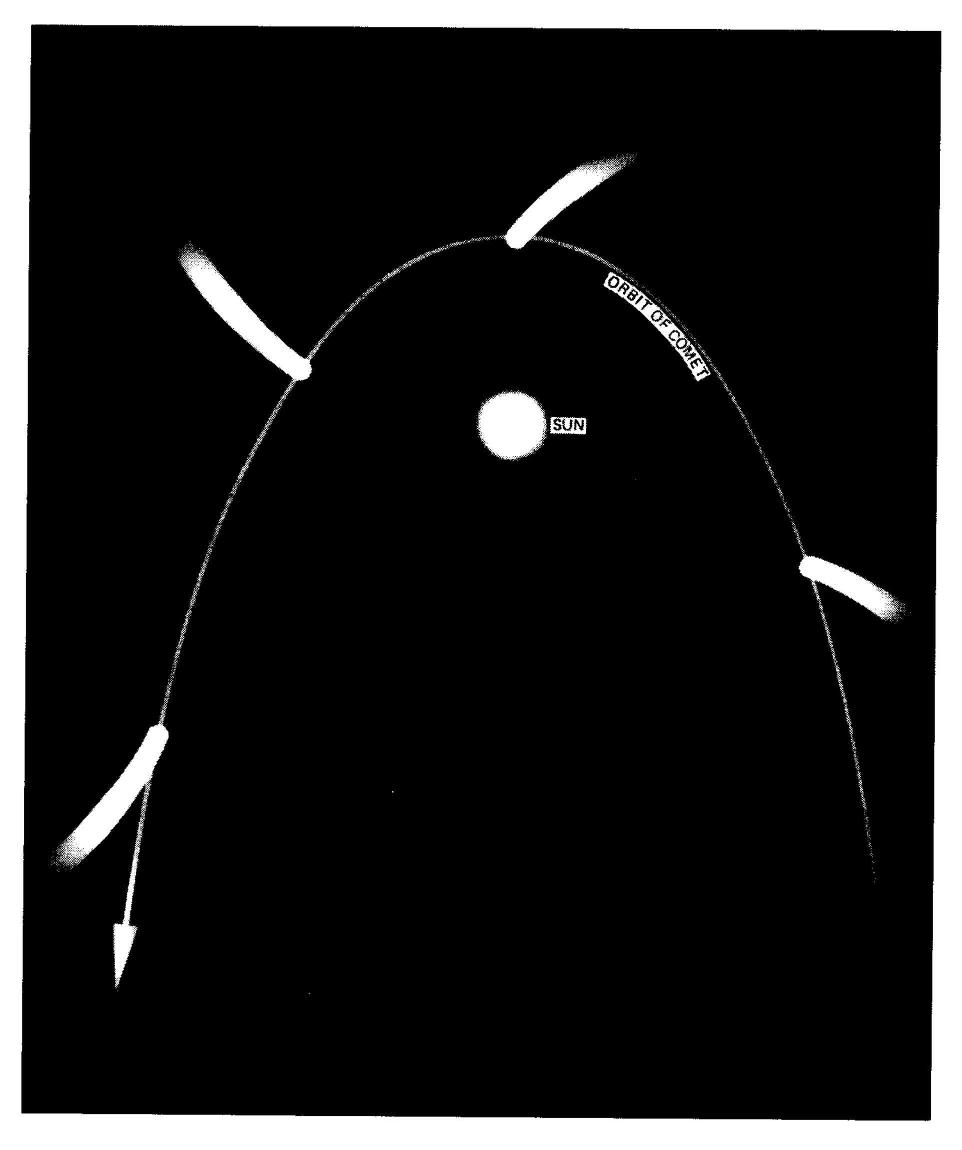
....

....

الجواب: بالنظر إلى أنَّ ذيولَ المذنَّبات تتكوَّن بفعل ضغط الإشعاع الشمسي والريح الشمسية، وكلاهما متّجهٌ دوماً بعيداً عن الشمس، اقتضى ذلك أن يتَّجه الذَّيلُ بعيداً عن الشمس أيضاً.

8.11 منشأ المذنَّبات

في الخمسينيات من القرن العشرين استنبط عالِمُ الفلك الهولنديُّ جان أورت Jan Oort (1900 ـ 1992) نموذجاً حظي بقبولٍ واسعٍ في الأوساط الفلكية، يرى أنَّ المذنَّبات التي نرصدها تولَّدت ضمن غلافٍ قشريٍّ هائل من جَمْهرة أجرامٍ جليدية تبعد عن الشمس 50,000 ـ 100,000 مرة بُعد

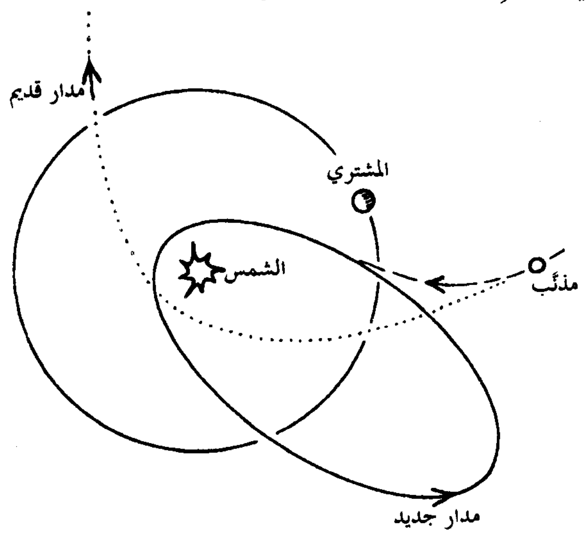


الشكل 5.11 مسار مذنَّب عند نقطة الرأس.

الأرض عنها. تلك هي سحابة أورت Oort cloud التي تقع عند ثلث المسافة تقريباً إلى أقرب النجوم، وقد تستوعب 100 مليار مذنَّبٍ أوَّلي.

يَحدث بين حينٍ وآخر أن يؤثِّر نجمٌ عابرٌ بقوة شَدٍّ على مذنَّب، فيُبطئ حركتَه ويهوي باتجاه الشمس. ذلك المذنَّبُ يكون مذنَّباً طويل الدَّور long-period comet، مدارُه على شكل قطعٍ مكافئ تقريباً، ويقع دورُه المداريُّ حول الشمس ما بين 20،000 سنة وملايين السنين.

ولو مرَّ المذنَّبُ قريباً من كوكب عملاق ـ لاسيما المشتري ـ تأثَّر بثقالة الكوكب القويّة، وربّما أدى ذلك إلى أن يهويَ المذنَّبُ داخلَ الكوكب، أو أن يتسارعَ مندفعاً خارجَ المنظومة الشمسية، أو أن يدورَ حول الشمس في مدارٍ إهليلجيٍّ قصيرِ الدَّور نسبياً (الشكل 6.11).



الشكل 6.11 إنَّ الثقالةَ القويةَ لكوكب المشتري تسبِّب اضطراباً في حركة مذنَّب عابرٍ طويل الدَّور على مداره، وتحمله على اتِّخاذ مدارٍ جديد قصير الدَّور حول الشمس.

ما المنشأ المحتمل للمذنَّبات التي نرصدها؟ ....

....

الجواب: سحابةٌ هائلةٌ من المذنَّبات قربَ حافَةِ المنظومةِ الشمسية.

9.11 المذنَّبات الدَّوريّة

صنَّفَ علماءُ الفلك نحواً من 150 من المذنَّبات القصيرة الدَّور short-period comets أو المذنَّبات الدَّورية periodic comets التي تقارب أدوارُها المداريةُ حولَ الشمس عدةَ سنوات، وقد تصل إلى 200 سنة. وتسطع هذه المذنَّباتُ في السماء دوريّاً كلما دَنَتْ من الشمس.

ويُعَدُّ مذنَّبُ هالي Comet Halley أشهرَ المذنَّبات وأكثرَها اطّراداً من حيث سطوعه، إذ سجَّل منذ سنة 240 قبل الميلاد ثلاثين مروراً أوجيّاً (عند نقطة الرأس)، وجرى رصدُه مقرابياً لأكثر من ثلاث سنواتٍ قبل ظهوره بتاريخ 9 شباط (فبراير) 1986 وبعده. يلاحَظ أن مذنَّب هالي هو أفضل المذنَّبات التي أُخضعت لتحليلٍ علميٍّ مستفيض حتى اليوم.

يُدرج الجدول 1.11 أسماءَ بعض المذنَّبات التي ظهرتْ عدةَ مراتٍ في سمائنا. ما أقصر دورٍ مداريٍّ معروفٍ لمذنَّب؟ ....

الجواب: 3,3 سنوات (مذنَّب إنْكي Encke).

الجدول 1.11 بعض المذنَّبات الدَّوريّة.

المذنَّب	دوره[1] (بالسنوات)	أدنى اقتراب له من الشمس (بالواحدات الفلكية)
P2/ إنكي encke	3,3	0,33
P21/ يعقوبيني - زينر Giacobini-zinner	6,6	1,03
P14/ وولْف Wolf	8,2	2,41
P55/ تيمبِل - تَتِلْ Tempel-Tuttel	33,2	0,98
P1/ هالي Halley	76,0	0,59

(1) الدَّور قابلٌ للتغيُّر بمرور الزمن.

ملاحظة: لما كانت أسماءُ المذنَّبات عرضةً للتغيُّر، فقد وَسَمَ الاتحادُ الفلكيُّ الدولي كلَّ مذنَّبٍ دوريٍّ بحرف P مسبوقاً برقم الدَّور ـ المذنَّب، المحدَّد وفق الترتيب الذي جرى فيه تعرُّف الصفة الدَّورية للمذنَّب.

10.11 مصير المذنَّبات

من غير الممكن أن يَنشَط مذنَّبٌ دوريٌّ بتوليد ذؤابة جديدة أو ذيول جديدة بلا حدود؛ فنواتُه تَفقد طبقةً سطحيةً بعمق عدة أمتار في كلِّ مرةٍ يُنجِزُ فيها دورةً حول الشمس، ويتشوَّشُ مدارُه بالمخلَّفات الغبارية والغازية؛ إذ يُخلِّف مذنَّبُ هالي وراءه زهاء 1 في المئة من كتلته في أثناء كلِّ مرورٍ أَوْجِيٍّ له (الشكل 7.11).

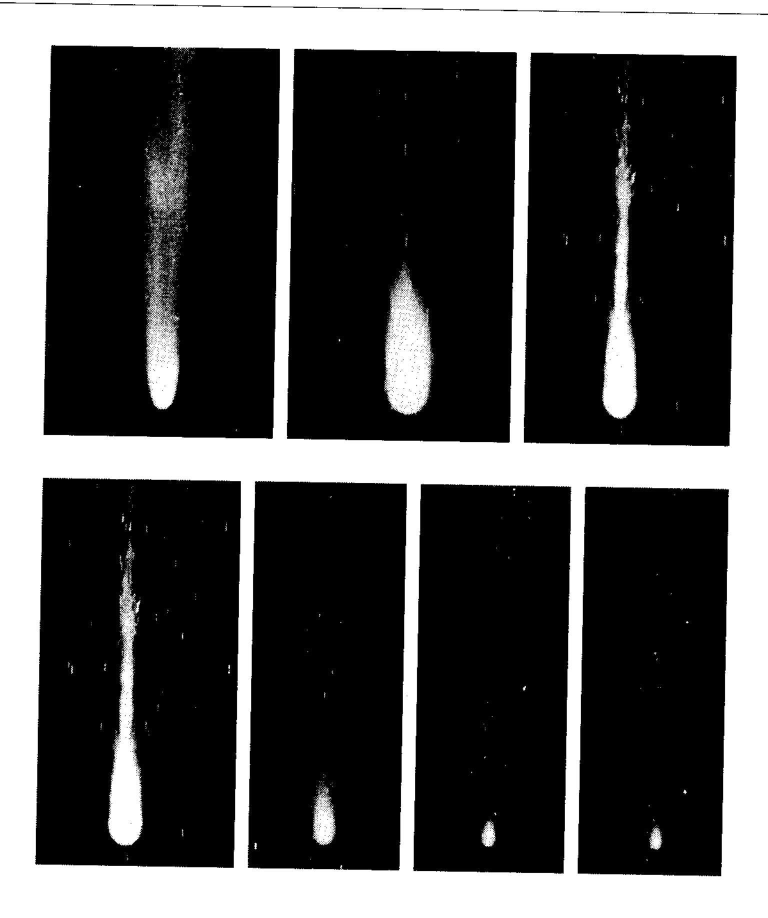
يَفقِد المذنَّبُ الدَّوريُّ في نهاية الأمر كاملَ مادّته الطيّارة، وقد لا يبقى منه إلا قطعٌ كبيرةٌ غليظة وشظايا صغيرة صُلْبة. تستمر أنقاض المذنَّب طوَّافةً حول الشمس كأنها كواكب صغيرة.

اذكر باختصار خمسةً من التغيُّرات التي تطرأ على مَظهر مذنَّبٍ يطوف في مداره حول الشمس ....

....

....

الجواب: 1. بعيداً عن الشمس، يتألَّف المذنَّب من نواةٍ من غازاتٍ متجمِّدةٍ وغبار. 2. تتكوَّن الذؤابةُ باقتراب المذنَّب من الشمس. 3. قريباً من الشمس، تتكوَّن الذيول. 4. بعد الطواف بالشمس، يتجمَّد من جديد مقدارٌ كبيرٌ من مادة المذنَّب. 5. بعيداً عن الشمس ثانيةً، تندثر الذؤابةُ والذيول.



الشكل 7.11 مظهر مذنَّب هالي في سبعة أيامٍ مختلفة، وقد تراجَعَ عن الشمس بعد ظهوره سنة 1910.

11.11 اقتفاء المذنَّبات

في كلِّ عام تُكتَشَف عدةُ مذنَّبات جديدة، يَجِدُ الفلكيون المحترفون بعضَها من المعطيات الفلكية التي بين أيديهم وهم في مراصدهم، ويقع الهواةُ المجتهدون على بعضِها الآخر.

تُنسَبُ المذنَّباتُ عادةً إلى مكتشفيها. غير أنَّ ثمة استثناءاتٍ يحمل المذنَّبُ فيها اسمَ أوَّل من حدَّد مدارَه رياضياً، كمذنَّب هالي نسبةً إلى إدموند هالي Edmond Halley (1656 ـ 1742). وقد يرتبط اسمُ مذنَّبٍ جديد

بالأشخاص الثلاثة الأُوَل الذين يُبلِّغون عن رصدهم له. وإذ باتَ اقتفاءُ المذنَّبات نشاطاً دولياً واسعَ الانتشار، فإنك تجد أحياناً أسماء عويصة اللفظ من قبيل المذنَّب القصير الدَّور (5,3 سنوات) المسمّى هوندا ـ مركوس ـ پاجدوساكوڤا Comet Honda-Mrkos-Pajdusakova!

كيف يمكنك أن تَصنع مَجْداً خالداً من مذنَّب؟ ....

الجواب: اكتَشِفْ مذنَّباً، وسيحمل اسمك إلى الأبد.

12.11 مخلَّفاتٌ بَيْكوكبيَّة

يحتلُّ المنظومةَ الشمسيةَ الداخليةَ نثارٌ لا حصر له من المادة يسمى النيازك meteoroids.

والأرضُ محاطةٌ بغبارٍ بَيْكوكبيٍّ يُرصَد عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء. تَدخل النيازكُ الغلافَ الجوّيَّ للأرض باستمرار، ويجمعها علماءُ الفلك على ارتفاعات عالية من الصفائح الجليدية في المناطق القطبيَّة الشمالية ومن قيعان المحيطات، لأغراض التحليل العلمي المخبري. هذه النيازك شبيهةٌ بحبيبات الغبار التي تلفظها نواةُ مذنَّب هالي (الشكل 8.11).

ما هو النيزك؟ ....

الجواب: جُسَيْمٌ صُلْب طوَّافٌ في الفضاء حول الشمس.

13.11 الشُّهُب

هل أضمرتَ يوماً في نفسك أمنيةً على «نجم هاوٍ» shooting (falling) star؟ إن هذه الومضات الضوئية ليست نجوماً على الإطلاق، بل هي شُهُب meteors: خطوطٌ من الضوء ولَّدتْها نيازك هَوَتْ عبر الغلاف الجوّي للأرض بسرعات قد تصل إلى 72 كم/ثا (45 ميل/ثا)، ثم احترقتْ هذه الجسيمات



الشكل 8.11 قطعةٌ من غبارٍ مذنَّب، مكبَّرة 15،000 ضعف.

الصغيرةُ باحتكاكها بالهواء وهي على ارتفاع ما بين 60 و 110 كم (40 و 70 ميلاً) فوق الأرض[1].

في أيِّ ليلة صافية دامسة الظُّلمة بإمكانك أن تعاين نحو ستة شُهُب في الساعة تومض في السماء فجأةً ودون سابق إشارة. يَحدث مثلُ ذلك في النهار أيضاً، لكنه لا يكون مرئياً بسبب شدة سطوع السماء نهاراً.

(1) عندما يدخل نيزكٌ meteoroid غلافَنا الجوّي يسخُن بالاحتكاك، وتسمى مخلَّفاتُه من الغازات الساطعة شهاباً meteor يحترق قبل وصوله الأرض؛ فإذا بلغ النيزكُ سطحَ الأرض سُمِّيَ حجراً نيزكياً meteorite. (المعرِّب)

وإذا كان النيزكُ الهاوي ضخماً، ولَّد شهاباً بالغَ السطوع يسمى كرةَ النار أو الشهاب الوهّاج fireball. وقد يحدث أحياناً أن تَسْلَم هذه النيازكُ ـ أضخمُها ـ جزئياً بعد سقوطها الناريّ. فقد رُصِدتْ بتاريخ 8 آذار (مارس) 1976 كرةٌ ناريةٌ حمراء مثيرة بحجم القمر البدر، عاينَها عشرات آلاف الناس على مساحة واسعة تقع شمال الصين. ثم رصدوا تحطُّمها العنيف عندما صارت على ارتفاع 17 كم فوق مدينة كيرين Kirin. وبعد ارتطامها الانفجاريّ بالأرض أُخِذتْ عيِّناتٌ من شظايا كبيرة وصغيرة منها ليتولى العلماءُ دراستَها معملياً.

ما هو الشهاب؟ ....

....

الجواب: شريطٌ من الضوء يمكن رصدُه عندما يحترق نيزكٌ لدى دخوله الغلافَ الجوّيَّ للأرض.

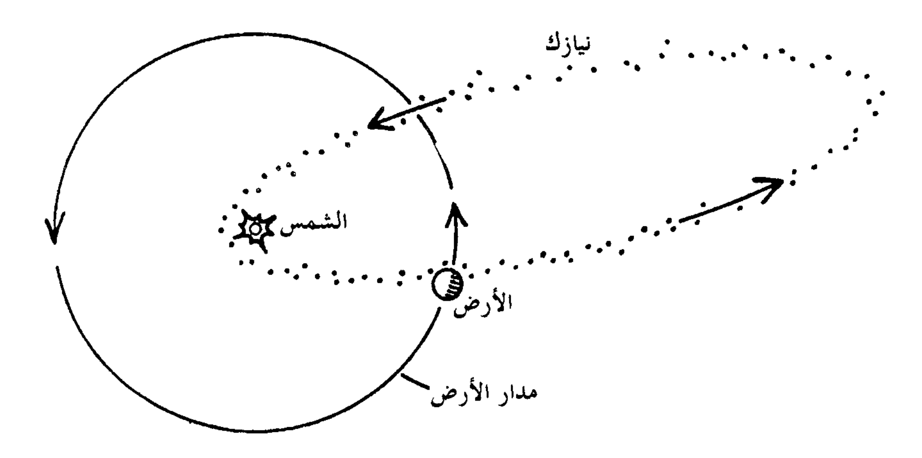
14.11 وابل الشُّهُب

في مواعيدَ كثيرة يمكن التنبُّؤ بها من كلِّ سنة، يمكنك رصدُ الشهب تنهمر انهماراً من جزءٍ واحدٍ من السماء. تسمى هذه الظاهرةُ وابلَ الشُّهُب meteor shower. وترتبط وابلاتُ الشُّهب بالمذنَّبات، فتَحْدث عندما تعبرُ الأرضُ ـ وهي تسعى في مدارها حول الشمس ـ جمهرةً من نيازك خلَّفها مذنَّبٌ نَشِط (الشكل 9.11).

في سنة 1910 ذَعِرَ الناسُ عندما أوشكت الأرضُ على اختراق ذيل مذنَّب هالي. ماذا تتوقَّع أن يحدث لو اختَرَقت الأرضُ ذيلَ مذنَّبٍ فعلاً؟ ....

....

الجواب: وابلُ شُهُبٍ ساطعٌ (لكنه حميد).



الشكل 9.11 يحدث وابلُ الشُهب عند مرور الأرض قربَ مدارِ مذنَّب، واختراقها حشداً من النيازك.

15.11 أفضل العروض الشهابية

تبدو الشهبُ ـ عند حدوثها ـ صادرةً كلُّها من نقطة واحدة مشتَركة في السماء تُسمى مُنْبَثَق الشُّهُب radiant. وتُنسَب وابلاتُ الشُّهب عادةً إلى الكوكبة التي يتراءى الوابلُ ناشئاً عنها، من قبيل وابل شُهُب فرساوس Perseids نسبةً إلى كوكبة فرساوس Perseus، ووابل الجبّار Orionids نسبةً إلى كوكبة الجبّار Orion.

يزداد إمكانُ رصد الشُهُب عادةً بعد منتصف الليل، منه قبله؛ ذلك لأن الأرضَ الطوّافةَ في مدارها تكون عند الفجر مندفعةً «بوجهها» مباشرة عبر تجمُّعات الجُسَيْمات(1). وأفضل ما تُرصد وابلاتُ الشُّهب بالعين المجرَّدة في الليالي التي لا يكون فيها القمرُ ساطعاً، فالقمرُ البدرُ يطمس جودةَ الرؤية.

(1) يمكن تمثيل هذا الفرق بمثالٍ من حياتنا: فأنت إذا ركضتَ تحت المطر أصابَ البللُ صدرَك أكثر مما يصيب ظهرك. هكذا يتقدّم جانبُ الفجر الأول من كوكبنا نحو الأنقاض النيزكية القريبة منا في الفضاء، في حين يبتعد جانبُ الليل عنها. (المعرِّب)

ويُدرِج الجدولُ 2.11 أبرزَ وابلات الشُّهب السنوية. ولما كان نشاطُ الوابل عُرضةً للتغيُّر بمرور الزمن، فمن الأجدى الرجوع إلى المنشورات الفلكية الحديثة (انظر «المصادر المفيدة» في نهاية الكتاب) للحصول على تفاصيل عن أفضل الوابلات للعام الحالي.

بالاستعانة بالجدول 2.11، سَمِّ أكبرَ وابل شُهُبٍ صيفي يمكن رصده، عند درجة سطوعه الأعظمي، من خط العرض 40° شمالاً، واذكر موعده ....

....

الجواب: فرساوس؛ 12 آب (أغسطس).

الجدول 2.11 أهم وابلات الشُّهب السنوية

وابل الشُّهب	تاريخ سطوعه الأعظمي	المعدَّل الساعي التقريبي	المذنَّب المرتبط به
شُهُب العوّاء	3 كانون الثاني (يناير)	30	
الشُّهُب الشلياقية	23 نيسان (أبريل)	8	1861I
شُهُب سعد الأخبية	4 أيار (مايو)	10	(ربّما) هالي
وابل الدَّلو	30 تموز (يوليو)	15	
شُهُب فرساوس	12 آب (أغسطس)	40	سويفت ـ تَتِلْ
شُهُب الجبّار	21 تشرين الأول (أكتوبر)	15	(ربّما) هالي
شُهُب الثور	4 تشرين الثاني (نوفمبر)	8	إنكي
شُهُب الأسد	16 تشرين الثاني (نوفمبر)	6	1866I تِمْپِل ـ تَتِلْ
شُهُب الجوزاء	13 كانون الأول (ديسمبر)	50	كويكب ڤيثون
وابل الدبّ الأصغر	22 كانون الأول (ديسمبر)	12	تَتِلْ

16.11 حوادث سقوط صخريّ (الأحجار النيزكية)

عندما تسقط قطعةٌ حجريةٌ أو معدنية من الفضاء الخارجيِّ على الأرض تسمى رجماً أو حجراً نيزكياً meteorite.

لم تسجَّل - في التاريخ الحديث - أيُّ واقعة قُتِلَ فيها بَشَرٌ من حجرٍ ساقط من السماء. ويُعتَقد أن مئاتِ أطنان المادة الكونية تصل الأرضَ سنوياً مخترقةً غلافها الجوّي، غير أنَّ حَجرَيْن أو ثلاثة أحجارٍ نيزكية لا أكثر قد تهبط كلَّ نحو عشرة سنوات في أماكن مأهولة، لكنها - مع ذلك - لا تكاد تتسبَّب في وقوع إصابات تُذكَر.

يزن أكبرُ حجرٍ نيزكيٍّ سقَطَ على الأرض حتى الآن - وهو حجر هوبا ويست -Hoba West نحواً من 66 طنّاً، ومازال موجوداً في جنوب غرب أفريقيا حيث هبط. وقد جرت العادة على أن يسمّى الحجرُ النيزكي باسم أقرب مكتب بريد من موقع هبوطه. يجدر بالذكر أن كثيراً من الأحجار النيزكية الكبيرة معروضٌ اليومَ في متاحفَ مختلفة من العالم (الجدول 3.11).

ما هو الحجرُ النيزكي؟ ....

الجواب: قطعةٌ حجريةٌ أو معدنية من الفضاء الخارجي.

الجدول 3.11 أحجار نيزكية كبيرة معروضة في الولايات المتحدة.

اسم الحجر النيزكي	وزنه التقريبي	مكان وجوده الحالي
آنيغيتو (غرينلاند)	34 طنّاً	المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك)
ويلاميت (أوريغون)	14 طنّاً	المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك)
فيرناس كاونتي (نبراسكا)	1 طن	جامعة نيومكسيكو
پاراغولد (آركنسو)	800 رطل إنكليزي	متحف شيكاغو للتاريخ الطبيعي

17.11 تركيب الأحجار النيزكية

إذا كنتَ مستعداً لإنفاق مزيد من المال، فما عليك إلا أن تفتِّش عن حجرٍ نيزكي! فما أكثر العلماء والهواة الذين ينفقون بسخاء في سبيل اقتناء مادة أصلية خالصة من الفضاء الخارجي، لأنهم يدركون أن الأحجارَ النيزكية هي المادةُ الوحيدة البِكْر الآتيةُ من الفضاء (سوى صخور القمر وتربته مما عادت به مركبتا أپولو ولونا)، التي يستطيع العلماء دراستها عن قرب.

تُصنَّف الأحجارُ النيزكيةُ في ثلاثة أنواع تبعاً لتركيبها:

(1) الأحجار النيزكية الحديدية iron meteorites، وتبلغُ كثافتُها ثمانيةَ أضعاف كثافة الماء تقريباً، وتتألف أساساً من الحديد (بنسبة تقارب 90 في المئة) والنيكل.

(2) الأحجار النيزكية الصخرية ـ الحديدية stony- iron meteorites، وتبلغ كثافتها نحو ستة أضعاف كثافة الماء، وتحتوي على الحديد والنيكل والسيليكات.

(3) الأحجار النيزكية الصخرية stony meteorites، التي تقارب كثافتُها ثلاثةَ أضعاف كثافة الماء، وتحتوي على نسبة عالية من السيليكات، ولا تتجاوز نسبةُ الحديد والنيكل فيها 10 في المئة من كتلتها.

والأحجارُ النيزكيةُ الحديديةُ أكثرُ الأنواع توافراً. أما الصخرية منها فتبدو شبيهةً بصخورٍ أرضية عادية، ولا تُميَّز في العادة إلا إذا رُصدتْ وهي تسقط، علماً بأن تحليلها المعملي يقطع بمنشئها الخارجي. ويعطي الجدول 4.11 نِسَبَ الحوادث المرصودة من مختلف أنواع الأحجار النيزكية الساقطة، ونِسَبَ تلك المكتَشَفة منها.

وأغلب الظن أن معظم الأحجار النيزكية شظايا كويكباتٍ تهشَّمتْ بحوادث صدم، بالنظر إلى تشابه تركيب هذه الأجرام. وقد قُدِّر عمرها بـ 4,6 مليارات سنة، وهو العُمر التقريبي لجملة المنظومة الشمسية.

وإذا كان الحجرُ النيزكي غنياً بالكربون، مع بعض المحتوى المائي سُمِّيَ العُقَيْدَة الكربونية carbonaceous chondrite. إن اكتشاف هذا النوع من الأحجار النيزكية يزيد من فضول العلماء للبحث عن حياة في الفضاء (الفصل الثاني عشر)، إذ توحي اكتشافاتٌ كهذه بإمكان تكوُّن مادة الحياة الأوَّلية خارج نطاق الأرض!

ففي سنة 1969 سقط الحجرُ النيزكي المسمّى ميرتشِسن Murchison Meteorite، الذي يرقى عمرُه إلى 4,5 مليارات سنة، في ڤيكتوريا بأستراليا. ووُجد بالتحليل أنه محتوٍ على الحموضِ الأمينية amino acids البسيطة التي تبني البروتينات، وعلى أُسسِ الحامض النووي nucleic acid bases التي تحمل العناصرَ الوراثيةَ وتستنسخها، بل وعلى المواد الكيميائية العضوية الشبيهة بالشحوم lipids، وهي المكوِّنات البنيويةُ للخلايا الحيّة.

وفي السنة نفسها أيضاً سقط في شمال المكسيك الحجرُ النيزكي ألِيندي Allende Meteorite، وهو من أضخم العُقَيْدات الكربونية الساقطة حتى الآن، وتحتوي على ما يقارب 2 طنين من أقدم المواد الأوَّلية في المنظومة الشمسية.

كذلك جرى تحصيل مجموعة تزيد على ألف حجرٍ نيزكيٍّ غير ملوَّث من جليد القارَّة القطبية الجنوبية، وتضمّ بعضَ العُقَيْدات الكربونية المحتوية على الحموض الأمينية.

وقد تبيَّن أن بعضَ الأحجار النيزكية «القمرية» قريبةٌ في تركيبها من الصخور التي جمعها من على سطح القمر روّادُ مركبة أپولو، وأن بعض الأحجار «المرّيخية» تحوي بداخلها غازاتٍ حبيسةً تكاد تكون متجانسةً كيميائياً لجوّ المرّيخ. وربّما يفسَّر ذلك بأن مذنَّباً أو كويكباً صَدَمَ المرّيخَ صدماً عنيفاً أدّى إلى انفلاتِ قطعٍ صخرية عن نطاق جاذبية المرّيخ نحو الفضاء، ثم أسرِها في نهاية الأمر في نطاق جاذبية الأرض.

الجدول 4.11 حدوث الأحجار النيزكية بأنواعها

أنواع الأحجار النيزكية	ما رُصد وهو يسقط	ما اكتُشف فيما بعد
الحديدية	6 في المئة	66 في المئة
الصخرية ـ الحديدية	2 في المئة	8 في المئة
الصخرية	92 في المئة	26 في المئة

لماذا كانت الأحجارُ النيزكيةُ مهمةً للعلماء؟ ....

....

....

الجواب: لأنها تمثِّل مادةً أوَّليةً بكراً من خارج جوّ الأرض يستطيع العلماءُ دراستها عن قرب لمعرفة المزيد عن المنظومة الشمسية.

18.11 حوادث تصادم بالأرض

قد تتساءل: ماذا عسى أن يحدث لو أن مذنَّباً أو حجراً نيزكياً عظيماً ضَرَبَ الأرض؟

تُحدِث الأحجارُ النيزكيةُ الكبيرةُ فوَّهات ضخمةً في الكواكب والأقمار التي تسقط عليها. ولا شك في أن الأرض قد تعرَّضت مراراً لصدمات كهذه في فجر تاريخها، غير أن الفوَّهات القديمةَ اندثرتْ وانطمستْ معالمها مع الزمن بفعل النشاط الجيولوجي وعوامل الحتّ والتعرية. أما اليوم، فإن وقوع حوادث صدمٍ خطيرة أمرٌ نادرٌ فعلاً. وبإمكانك مشاهدة فوّهة الصدم المسمّاة ميتيور كريتر Meteor Crater قرب وينسلو شمالي ولاية أريزونا الأمريكية (الشكل 10.11)، وهي فوّهةٌ نَجَمَتْ عن صدمٍ بحجرٍ نيزكي منذ أكثر من 25،000 سنة خلت.

إنَّ حادثة صدمٍ بنواة مذنَّب قد تكون من الشدة بحيث تولِّد طاقةً تعادل



الشكل 11.10 فوّهة ميتيور كريتر في أريزونا بالولايات المتحدة، يقارب قطرُها 1,5 كيلومتر، وعمقها 180 متراً.

انفجار ملايين القنابل الهيدروجينية. إلا أن السَّواد من علماء الفلك يستبعدون جداً احتمالَ وقوع حوادث صدم كهذه بالأرض. وكان الاحتمال الأكثر وروداً في الماضي أن يكون الصَّدمُ بحجرٍ نيزكي. وبات في حكم المؤكَّد فلكياً اليومَ أن المذنَّباتِ أغلبَها لا يمكن أن تقترب من الأرض البتة في أثناء تطوافها حول الشمس، [والله أعلم].

بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة 1908 ضربَ سيبيريا انفجارٌ عملاقٌ غامض بقوةٍ ناهزت 12 ميغاطن، على ارتفاع نحو 8 كم عن الأرض، سوّى الأشجارَ بالأرض خارجَ نقطة الانفجار لمساحةٍ بلغت نحو 1000 كيلومتر مربع من الغابات قرب نهر تنغوسكا Tunguska River، وتسبَّبَ في نفوق عدد من أيائل الرنَّة ضمن قطيع على بُعد 40 كيلومتراً (25 ميلاً). ويُعتَقد أن

حجراً نيزكياً ضخماً، أو مذنَّباً قد انفجر وأحدث ذلك الدَّمار[1].

كذلك يُعتَقد أنَّ جِرماً سماوياً صدمَ الأرض وهزَّها شديداً منذ نحو 65 مليون سنة، فتسَبَّبَ في انقراضٍ واسعٍ فاجعٍ للديناصورات ولكثيرٍ من الأنواع النباتية والحيوانية الأخرى. وقد وَجَدَ الباحثون ترسُّباتٍ غنيَّةً من عنصر الإريديوم في الحدّ K-T، وهو الطبقة الجيولوجية المؤلِّفة للترسُّبات الحاصلة ما بين نهاية الحقبة الطباشيرية Cretaceous Era وبداية الحقبة الثالثة Tertiary Era. ومعلومٌ للمختصين أن الإريديوم يتوافر أكثر في المذنَّبات والأحجار النيزكية والكويكبات، منه في قشرة الأرض. وعُثِر أيضاً في الحدّ K-T على سِناجٍ soot وكريّاتٍ معدنية صَهَرَتها الصدمة. ويُفترَض اليوم أن موقع الصَّدم كان فوَّهةً عظيمةً دُفنتْ تحت شبه جزيرة يوكاتان Yucatan Peninsula في المكسيك[2].

هل من المحتمل أن تتعرَّض الأرضُ لصدم نواةِ مذنَّبٍ أو حجرٍ نيزكيٍّ كبير في المستقبل القريب؟ ....

الجواب: لا.

(1) من المثير في حادثة تنغوسكا هذه أن الأشجار في مركز المنطقة المصابة بقيت قائمةً على أصولها، لكنها مجرَّدة الأغصان. وقد يدلُّ هذا على أن الانفجار حدث في الجو، دون وجود دليلٍ قاطعٍ بالسبب الذي أدّى إلى وقوعه على وجه اليقين. انظر كتاب: Explorations: an Introduction to Astronomy Thomas T.Arny, Mosby, 1994. ص 279 - 280. (المعرِّب)

(2) انظر إن شئت تفصيلاً حول هذا الموضوع ص280 - 281 من المرجع السابق: Explorations: an Introduction to Astronomy (المعرِّب)

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الحادي عشر وتمثُّلك لها. حاوِل الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1. لماذا يَستعمل علماءُ الفلك اليوم أجهزةً متقدِّمةً لدراسة المذنَّبات؟ ....

....

....

....

2. ممَّ تتألَّف نواةُ مذنَّب؟ ....

....

....

3. اذكر اثنين من المكتشَفات الهامة التي تتَّصل بنواة مذنَّب هالي، التي عُرِفت في أثناء مرور المذنَّب في نقطة الرأس (الأوج) سنة 1986.

(1) ....

....

....

(2) ....

....

....

4. بيِّن خمسةً من التغيُّرات التي تطرأ على مَظْهر مذنَّبٍ دوريٍّ في أثناء طوافه في مداره حول الشمس ....

....

....

....

....

....

5. عيِّنْ على رسمٍ تخطيطيٍّ الأقسامَ الرئيسيةَ لمذنَّبٍ ساطعٍ نموذجي.

(أ) ....؛ (ب) ....؛

(ج) ....؛ (د) ....

6. تحدَّث عن منشأِ المذنَّباتِ الدَّورية ومصيرها ....

....

....

....

....

7. قابِل كلَّ وصف مما يلي بالجِرم الصحيح.

--	(أ) نجمٌ ساقطٌ أو هاوٍ.	(1) شهاب.
--	(ب) جسيماتٌ صغيرةٌ تطوف بالشمس.	(2) حجر نيزكي.
--	(ج) جِرمٌ صُلْب يصل إلى الأرض.	(3) نيزك.

8. بيِّنْ علاقةَ المذنَّبات بوابلات الشُّهُب ....

....

....

....

9. اذكر تركيبَ الأحجارِ النيزكية، ومنشأها المحتمَل

....

....

....

....

10. رتِّب الأجرامَ التالية بحسب بُعدها عن الشمس بدءاً من الأقرب: الطَّوق الكويكبي، الأرض، سحابة أورت، پلوتو ....

....

11. اشرح سبب اهتمام العلماء بالأحجار النيزكية ....

....

....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن وجدتَها صحيحةً كلَّها، انتقل إلى الفصل التالي، وإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. بالنظر إلى أهميتها الخاصة؛ فهي تُعَدُّ أكثرَ الأجرام ثباتاً من حيث احتفاظُها بمادّتها الأصلية التي منها تكوَّن كلُّ ما في المنظومة الشمسية.

(الفقرة 11.2)

2. تتألف نواة المذنَّب في معظمها من جليدٍ مائي وغازاتٍ متجمِّدةٍ أخرى ممزوجةٍ بموادَّ صُلبة، ذلك بحسب نموذج كرة الثلج الملوَّثة.

(الفقرة 11.4)

3. (1) النواة سوداء قاتمة، لها شكل حبة البطاطا، وبطول 15 كيلومتراً (9 أميال) تقريباً.

(2) وجود شقوقٍ وفلوق وفوَّهاتٍ محتملة على السطح، وطبقة غبارية عازلة سوداء قاتمة، وتسرُّب نفثات غباريةٍ وغازية قرب نقطة الرأس.

(الفقرة 11.4)

4. (1) بعيداً عن الشمس يتألف المذنَّب من نواةٍ من غازاتٍ متجمِّدةٍ وغبار.

(2) تتكوَّن الذؤابةُ باقتراب المذنَّب من الشمس.

(3) تتكوَّن الذيول قريباً من الشمس.

(4) بعد الطواف بالشمس يتجمَّد المذنَّبُ ثانية.

(5) بعيداً عن الشمس ثانية، يتألف المذنَّب من نواةٍ من جديد.

(الفقرات 3.11 إلى 7.11 و 9.11 و 10.11)

5. في الشكل 2,11(أ) النواة؛ (ب) الذؤابة؛ (ج) الذيل؛ (د) السحابة الهيدروجينية.

(الفقرة 3.11)

6. يترجَّح نشوءُ المذنَّبات الدَّورية في سحابة أورت الهائلة، قريباً من حافة المنظومة الشمسية. تعمل الثقالةُ القوية لكوكب المشتري على إعادة توجيه تلك المذنَّبات المارّة في الجوار ونقلها من مداراتٍ طويلة الدَّور إلى أخرى قصيرة الدَّور حول الشمس. وبعد مرور المذنَّبات في نقطة الأوج عدة مرات، تفقد في نهاية الأمر كاملَ مادّتها الطيّارة، ولا يبقى منها سوى شظايا صُلْبة تبقى طوّافةً حول الشمس.

(الفقرات 8.11 إلى 10.11)

7. (أ) 1؛ (ب) 3؛ (ج) 2.

(الفقرات 12.11 و 13.11 و 16.11)

8. تحدث وابلاتُ الشُّهُب عندما تعبر الأرضُ ـ الطوّافةُ في مدارها حول الشمس ـ حشداً من النيازك التي خلَّفها مذنَّبٌ نَشِطٌ في الفضاء.

(الفقرة 14.11)

9. الأحجار النيزكية الحديدية. معظم تركيبها من الحديد (زهاء 90 في المئة) والنيكل؛ الأحجار النيزكية الصخرية ـ الحديدية. تتركب من الحديد والنيكل والسيليكات؛ الأحجار النيزكية الصخرية. محتوى عالٍ من السيليكات، ولا تتجاوز نسبة الحديد والنيكل فيها 10 في المئة من الكتلة.

المنشأ المحتمل: الطوق الكويكبي.

(الفقرة 17.11)

10. الأرض، الطوق الكويكبي، بلوتو، سحابة أورت.

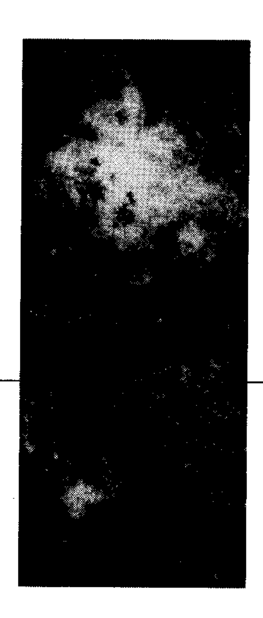
(الفقرتان 8.11 و 17.11)

11. لأنها مادَّةٌ أوّليةٌ بِكْر نشأتْ في الفضاء الخارجي، وتساعدنا ـ بدراستها عن قرب ـ على فهم تاريخ وتركيب كوكبنا الأرضي وسائر المنظومة الشمسية.

(الفقرتان 16.11 و 17.11)

12

هل ثمة حياة في عوالم أخرى؟



إننا نسعى إلى تجاوز زماننا لعلنا نعيش زمانكم. ونتطلع بعين الأمل إلى إدراك ركب الحضارات المجرية يوماً ما، بعد أن نكون قد ذللنا ما يواجهنا من صعوبات. وما هذا السجل إلا رمز أملنا وعزمنا وصادق استعدادنا للتعامل مع كونٍ فسيح ومثير.

الرئيس الأمريكي جيمي كارتر، 1977
من قيد السجل الخاص بمركبتي ڤوياجر الفضائيتين

الأهداف:

- وَصْف الأساس الجزيئيّ للحياة الأرضية.
- إيراد الدليل على أن حياةً ما قد نشأت تلقائياً على الأرض من جزيئات لاحَيَّة.
- عَرْض نظرية علمية عن منشأ الحياة الذكيَّة على الأرض، وتطوُّرِها التدريجي.
- استقراء البحث عن الحياة على كوكب المرّيخ.

- إيراد الدليل على وجود منظومات كوكبيَّة غير منظومتنا.
- ذكر العوامل المتَّصلة بالاحتمالات الإحصائية لوجود حياة ذكية خارج كوكبنا الأرضي.
- استعراض جهود البحث والاستكشاف الإنساني في الفضاء في الماضي والحاضر.
- تقديم الرؤية العلمية السائدة حالياً حول الرحلات البَيْنجميَّة والأجسام الطائرة المجهولة.
- استعراض مشروعات نفَّذها العلماء، أو يخطِّطون لتنفيذها، بحثاً عن ذكاءٍ خارج الأرض.

1.12 مكتشَفات واعدة:

هل ثمة حياةٌ خارج حدود الأرض extraterrestrial life ؟ الله أعلم! فقد تكون الحياةُ على الأرض ظاهرةً كونيةً فريدة، وقد لا تكون بالنظر إلى وجود دلائل مقنعة تشير إلى أننا لسنا وحيدين.

ومن المعلوم للمختصّين في الكيمياء الحيوية أن وجود كلِّ الكائنات الحيَّة على الأرض يَعتمد على عدد قليل من جزيئات عضوية أساسية، أو جزيئات تحتوي على الكربون، بالإمكان تصنيعها في المختبرات من ذرات غازية.

وقد رَصَدَ علماءُ الفلك ذرات وجزيئات الحياة الأساسيةَ في منظومتنا الشمسية، وفي النجوم، وفي سُحُب الغبار البينجميّ، ووجدوا أيضاً أحجاراً نيزكيَّةً تحوي حموضاً أمينيَّة amino acids وموادَّ كيميائيةً شحميَّة lipidlike وماء.

ويَفترض علماءُ الفيزياء أن القوانين الطبيعية التي تحكم الظواهرَ الفيزيائية والكيميائية على الأرض صحيحةٌ كذلك في كلِّ مكان في الكون.

فإذا كان للحياة على الأرض أن تنشأ من جزيئات لاحيَّة، بفعل سلسلة من العمليات الفيزيائية والكيميائية، فمن المحتمل كذلك أن تكون هناك حياةٌ في أماكن أخرى من بين ما يزيد على 200 مليار نجمٍ في مجرَّتنا درب التبانة، أو في غيرها من مجرّات الكون الأخرى التي يناهز عددُها 100 مليار مجرَّة.

لقد بدأ البحثُ فعلاً!

وعِلْم الأحياء الفلكية astrobiology هو المبحث الذي يدرس منشأَ الحياة في الكون، وتوزُّعَها وتطوُّرها ومستقبَلَها. وقد يتمكن هذا العلمُ عما قريب من الإجابة عن تساؤلاتٍ من قبيل: كيف بدأت الحياةُ على الأرض؟ وكيف تطوَّرت؟ وهل توجد أنماط حياة أخرى مغايرة؟ وما المآل الذي ينتظرنا نحن البشر على الأرض وفي الفضاء؟

ما الذي يَحمل العلماءَ على الاعتقاد بإمكان وجود حياةٍ خارج نطاق الأرض؟ ....

....

....

....

الجواب: وُجدت جزيئاتُ الحياة الأساسيةُ في الفضاء، وصُنِّعت في المختبرات. فإذا جازَ لكائنات حيَّة أن تنشأ عن جزيئات لاحيَّة بفعل سلسلة من التفاعلات الفيزيائية والكيميائية، وإذا لم تكن تلك الكائناتُ الحيَّةُ نتيجةً لظاهرةٍ كونيةٍ فريدة، صحَّ لنا القولُ بإمكان وجود حياة في عوالم أخرى.

12.2 البدايات الكونيَّة

في مقدمة الصفات التي تُميِّز كائناً حيّاً عن آخر غير حيّ القدرة على

التكاثر وخاصية الاستقلاب (الأيض) metabolism. لكن ما الذي قَدَحَ شرارةَ الحياة الأولى؟ لا أحد يعلم؛ غير أن نظريةَ التطوُّر الكوني cosmic evolution theory تربط ظهورَ الكائنات الحيَّة بقوىً كونية وفقاً لما يلي:

انبعث الكونُ إلى الوجود في حادثة الانفجار العظيم منذ 10 ـ 20 مليار سنة خلت، وكان الهيدروجين والهليوم أولَ العناصر. ثم تمدَّد الكونُ وتبرَّدَ، وتكوَّنت المجرّاتُ والنجوم، وبدأت العناصرُ الثقيلةُ تتولَّد ببطء بعملية التخليق النووي nucleosynthesis في باطن النجوم الكبيرة الكتلة. وراحت المستعِراتُ الفائقةُ تنثر مادةً غنيَّةً في الفضاء من جديد، حيث تكرَّرت الدَّورة.

ومنذ نحو خمسة مليارات سنة تكثَّفت الشمسُ من سحابة بينجميّة غنيَّة تحمل عناصرَ حيويةً وحُبَيْبات غباريَّة. واتَّخذت الأرضُ ـ وسائرُ أجرام المنظومة الشمسية ـ شكلَها ضمن قرصٍ مرتَصٍّ ومتبرِّدٍ من المادة، طوّافٍ حول الشمس الوليدة.

في بداية الأمر كان سطحُ الأرض مضطرباً وناريّاً؛ فالبراكينُ النَّشطة تقذف بحممِها وغازاتِها الحارّةِ باستمرار، والأحجارُ النيزكيةُ والمذنَّبات تهوي وترتطم، مضيفةً بذلك مزيداً من العناصر الحيوية إلى الأرض الفتيَّة.

تلا ذلك مليارُ سنةٍ تبرَّدت فيها الأرضُ. وبفعل انتزاع الغازات outgassing تكوَّن غلافٌ جوّيٌّ وبحرٌ محيط.

قام العلماءُ بتفعيل مزيجٍ من مركَّبات الهيدروجين والكربون والأكسجين وغازات آزوتية شبيهة بغازات الغلاف الجوّي الأول، واستطاعوا توليدَ جزيئات عضوية تضمُّ الحموضَ الأمينية، التي هي بمنْزلة الجزيئات الأساسية للحياة. واجتمعت مصادرُ الطاقة المتاحةُ: كأشعة الشمس فوق البنفسجية، والأشعة الكونيَّة، وومضات الإنارة، وموجات الصَّدم الناشئة عن الفعالية الجيولوجية، اجتمعت كلُّها ـ منذ أربعة مليارات سنة ـ للإبقاء على الغازات الجوّية متماسكةً في جزيئات عضوية أكثر تعقيداً.

وهناك احتمالٌ آخر يقول إنَّ منافذَ حراريّةً في قاع المحيط كانت مهدَ الحياة، بالنظر إلى أن الأحوال هناك تبدو مساعفةً لتكوين الجزيئات العضوية.

وشيئاً فشيئاً تراكمت الجزيئاتُ العضويةُ في بحار الأرض. ومع تزايد تركيزها أدّى تلاطمُها في الماء إلى اندماج صغارها بكبارها. وكان للماء دورٌ مهمٌّ في تلك العملية، من حيث تسريعُ التفاعلات الكيميائية عن طريق تسهيل عمليات التصادم في ما بين الجزيئات.

وربما انقضى مليارُ عام تكوَّن في أثنائه مزيدٌ من الجزيئات المعقَّدة، إلى أن تكوَّنت في آخر الأمر جزيئات الحمض الرِّيبِي النووي ribonucleic acid (RNA) والحمض الرِّيبِي النووي المنقوص الأكسجين deoxyribonucleic acid (DNA)، التي حَملت التعليمات (الشفرات) الوراثية genetic codes للتناسخ. وبذلك تَمَّ الانتقال من المادة اللاحيَّة إلى المادة الحيّة.

لماذا كان الماءُ مهماً في عملية التطوُّر الكيميائي للجزيئات العضوية الأساسية للحياة؟ ....

....

الجواب: يسرِّع الماءُ التفاعلاتِ الكيميائيةَ بتمكين الجزيئاتِ من التصادم في ما بينها.

3.12 الدليل العلمي

يدلّ الڤيروسُ الاعتيادي على أن الكائنات الحيَّةَ يمكن أن تتطوَّر من جزيئات لاحَيَّة، لأنه يحمل صفات مشتركةً منهما معاً.

يتألف الڤيروس - وهو كائن دقيقٌ جداً لا يُرى إلا تحت المجهر الإلكتروني - أساساً من جديلة DNA أو RNA. ويتعذَّر على الڤيروس توفيرُ طاقته الذاتية أو استنساخ نفسه خارج الخلايا الحيّة، ويبقى ناشطاً مادامت

الخلايا التي يصيبها تمدُّه بالطاقة اللازمة لنموّه، وتهيئ له أسبابَ تكاثره.

وإذا كان الحدُّ الواضح الفاصل بين المادة الحيّة واللاحَيَّة مصطنَعاً ووُجدت الڤيروسات ضمن سلسلة متَّصلة، اقتضى ذلك أن تكون هذه الڤيروساتُ في مكان ما قرب الوسط. ولعلَّ خليةً أوّليةً قديمةً مشابهة هي التي آذنت ببداية الحياة على الأرض.

ما الدليل على إمكان تطوُّر كائنات حيَّة من جزيئات لاحَيَّة؟ ....

....

الجواب: يحمل الڤيروسُ صفاتٍ من الكائنات الحيَّة والجزيئات اللاحَيَّة في آنٍ معاً.

4.12 التطوُّر

يؤكِّد مبدأُ الاصطفاء الطبيعي، أو بقاء الأصلح، على أن الكائنات الحيَّةَ على الأرض تطوَّرت بلا استثناء من كائنات بسيطة وحيدة الخليّة.

وتدلُّ المستحاثّاتُ المجهريةُ الدقيقة microfossils في الصخور الأرضية التي تزيد أعمارها على ثلاثة مليارات سنة على أن الحياةَ وُجدت على الأرض ـ عندما تكوَّنت تلك الصخور ـ على مستوى نباتات بسيطة وحيدة الخليّة سُمِّيت بالطحالب algae، وكائنات من قبيل البكتريا (الشكل 12 . 1).

تكاثَرَ النوعُ الأول من الأحياء، إلا أن الأنسال لا يمكن أن تكون نُسَخاً طبق الأصل عن الوالدَيْن؛ بل لا بدَّ دوماً من ظهور تبايُنٍ ما في الصفات في كلِّ مرة تحدث فيها عمليةُ التكاثر.

وُجد أن أصلحَ العناصر كان تلك الحاملة للتغيُّرات المرغوبة التي ساعدت العناصرَ على البقاء. تلكَ العناصرُ الصالحةُ متاحٌ لها الحظُّ الأوفر لبلوغ سن النضج وأداء وظيفة التكاثر. وهكذا انتقلت الصفاتُ المرغوبة، في



الشكل 1.12 بكتريا مستحاثية عمرها عدة مليارات السنين.

حين تلاشت الصفاتُ غير المرغوبة، عن طريق الاصطفاء الطبيعي. وببطء، وعلى مدى زمنٍ طويل، نشأت أنماطٌ جديديةٌ عن النمط الأصلي.

ثم عملت الكائناتُ المتعدِّدةُ الخلايا، التي ظهرت منذ نحو مليار سنة، وكذلك التكاثر الجنسي، على تسريع التنوُّع التطوُّري evolutionary diversification.

يشير السجلُّ المستحاثّي لل 600 مليون سنة الماضية إلى أنه في أحيان كثيرة وقعت حوادث انقراضٍ كامل لبعض الأنماط الحيَّة، أعقبها ظهور أنماط جديدة متنوِّعة. فقد وُجدت أَوَّلُ الأسماك في البحار منذ نحو 425 مليون سنة، في حين ظهرت الزواحفُ منذ زهاء 325 مليون سنة. وبعد انقراض الديناصورات منذ 65 مليون سنة تكاثرت ضروبٌ من الثدييات

الصغيرة. وأخيراً ظهر الإنسان بذكائه المعرفي منذ قرابة 40،000 سنة خلت.

بهذه الطريقة، وفي ظِلّ الأحوال البيئية الدائبة التغيُّر التي تناوبت الأرضَ على امتداد مليارات من السنين، يمكن القولُ إنَّ الكائناتِ الحية، ومنها الإنسان الحديث، قد تكون تطوَّراً من خلايا بسيطة.

اقترحْ تغيُّراً بيئياً من شأنه أن يولِّد ظاهرةً تطوُّريةً حَرِجة ....

....

الجواب: تبدُّل جذريّ شامل في المناخ مثلاً. (ولعلَّك تسوق مقترحات أخرى).

5.12 الكواكب القريبة

من المحتمل أيضاً أن تكون الحياةُ قد وُجدت على كوكبٍ مجاور. فالمنطقة الصالحة للعيش habitable zone (ecosphere) حول الشمس تقع على وجه التقريب بين مدارَي الزُّهَرة والمرّيخ.

ولا يبدو الزُّهَرة ملائماً للحياة، بسبب جفافه وارتفاع درجة حرارته السطحية ارتفاعاً قد يصل إلى 480° مئوية (900° فارنهايتية).

ذلك خلافاً للمريخ، الذي يبدو أكثر ملاءمةً؛ إذ يظهر وكأن كميات كبيرةً من المياه ـ التي لا غنى عنها للحياة على الأرض ـ قد جرت فيما مضى على سطحه. يؤيِّد ذلك ما تبيِّنه الصُّوَرُ الفوتوغرافيةُ من قنوات متفرِّعة تبدو أحواضاً نهرية وروافد مألوفةً ربما كانت من قبلُ أنهاراً تتدفق (الشكل 18.9)، علماً بأن الماءَ موجودٌ اليوم في قلنسوتَي المرّيخ القطبيَّتين الجليديَّتين، وفي صقيعه وضبابه وسُحُبه الرقيقة.

وقد أظهرت التجاربُ على الأرض أن لبعض النباتات والميكروبات القدرةَ على البقاء حيَّةً في أحوال بيئيَّة شبيهة بتلك السائدة على المريخ اليوم.

وهذا يبرِّر القول بأن الحياة لو وُجِدت هناك، فمن المحتمل أنها مازالت مستمرة.

قامت مركبةُ ڤايكينغ الفضائيةُ الأمريكية بتجاربَ خاصة للكشف عن ميكروبات كربونيةِ التركيب تعيش في التربة المرِّيخيَّة. لم تكن النتائجُ حاسمة، واكتُشف نشاطٌ محيِّر ردَّه العلماءُ إما إلى وجود كائنات حيَّة، وإما - وهذا هو الغالب - إلى خصيصة كيميائية غير اعتيادية تنفرد بها التربةُ المرّيخيَّة.

وقد يحتوي كوكب المشتري والتابع تيتان على ميكروبات بسيطة، فالسحب التي تكتنفهما تحوي الغازات ذاتَها التي ربما نشأت عنها الحياةُ على الأرض. وقد توجد بحارٌ من الهيدروجين السائل على المشتري، أو الآزوت السائل على تيتان حيث يحتمل وجود أنماط ما من الحياة هناك. أما التابع أوروبا فلربما عَرَفَ الحياة في بحر محيط تحت سطحه.

ومع ذلك فلما يصل العلماءُ إلى قرارٍ قاطعٍ بوجود الحياة أو عدم وجودها في المريخ والمشتري وأوروبا وتيتان. وما علينا إلا انتظار ما ستسفر عنه المسابير الكوكبية من نتائج في مقبلات الأيام.

أعطِ ثلاثةَ دلائل توحي بأن الحياة قد وُجدت في كوكب المرّيخ من جزيئاتٍ لاحَيَّة ....

....

الجواب: (1) الدليل المشير إلى أن ماءً غزيراً قد تدفَّق في الماضي على سطح الكوكب. (2) وجود المرّيخ داخل المنطقة الصالحة للعيش حول الشمس. (3) أن بعضَ النباتات والميكروبات قادرٌ على البقاء حيّاً في الأحوال البيئية المرّيخية.

6.12 الاحتمالات

قد نكون ـ نحن البشر ـ الحضارةَ الوحيدةَ الذكيّةَ (كما ندَّعي لأنفسنا فخورين) في الكون كلّه، وقد توجد حضاراتٌ أخرى كثيرة.

وشمسنا ليست إلا واحداً من 200 مليار نجمٍ في مجرّتنا درب التبّانة. وإن ما يقرب من مليار مجرَّة تقع ضمن المدى المجدي لمقاريبنا الكبيرة، ومن الممكن أن يكون لكثيرٍ من نجوم هذه المجرّات كواكبُ تطوف بها، ربما حمل بعضُها حضارات ذكية.

في هذا السياق، اقترحَ عالِما الفلك الأمريكيان: كارل ساغان Carl Sagan (1934 ـ 1996) وفرانك دريك Frank Drake، وعالِم الفلك الروسي شكلوفسكي I. S. Schklovsky (1916 ـ 1985) اقترحوا طريقةً لتقدير عدد الحضارات الذكية في مجرَّة درب التبّانة. وهي الحضاراتُ الوحيدة التي نأمُل التواصلَ معها في الوقت الحاضر. تقوم هذه الطريقةُ على تطبيق ما يلي: قَدِّرْ بشيءٍ من الثقة (1) العددَ الإجمالي للنجوم في المجرَّة، (2) ومن بينها عددَ النجوم التي لها كواكب تدور حولها، (3) ومتوسط عدد الكواكب الصالحة للحياة فيها.

وبدرجةٍ أقلَّ من الثقة، قدِّر (4) ذلك الجزءَ من الكواكب الملائمة التي شهدت حياةً على سطحها فعلاً، (5) وذلك الجزءَ الذي يمثِّل بداياتِ الحياة التي نشأت في كائناتٍ ذكية، (6) وذلك الجزءَ الذي يمثِّل الأنواعَ الذكيَّة التي حاولت التواصل.

ثم احدس حدساً (7) العمرَ الوسطيَّ لحضارةٍ ذكية.

فإذا أُخذت كلُّ هذه العوامل في الحسبان، وُجد أن عددَ الحضارات الذكية اليوم يقع بين حضارة واحدة (هي حضارتنا نحن) ومليون حضارة في شتى أرجاء مجرَّة درب التبّانة.

لماذا تعتقد أن (7) العمرَ الوسطيَّ لحضارةٍ ذكية هو أبعد الأرقام عن اليقين؟

....

....

....

....

....

الجواب: ما كان لبشرٍ أن يعلم ما يحدث عندما تبلغ حضارةٌ كحضارتنا - إذا كانت نموذجيةً فعلاً - مرحلةً من التطوُّر التقني يؤهِّلها للتواصل مع حضاراتٍ أُخَرَ في مجرَّتنا. تُرى هل ستستمر تلك الحضارة بما يكفي لإجراء حوارٍ معها، أم أنها ستُدَمَّر بأسلحةٍ نووية، أو بالتلوُّث، أو بتزايد عدد السكان زيادةً مفرطة؟

7.12 منظوماتٌ كوكبيةٌ خارج نطاق المنظومة الشمسية

تؤكِّد النظريةُ السديميةُ لتكوُّن النجوم أن نجوماً كثيرةً لا بدَّ من أن تكون مثابةً لكواكبَ دائبةِ التطواف حولها (الفقرة 3.4).

رُصدت الأقراصُ حول النجميَّة (المطيفة بالنجوم) circumstellar disks، وهي كتلٌ عظيمةٌ من الغازات والجُسَيمات الدوّارة حول النجوم، أوَّل ما رُصدت عند الأطوال الموجيَّة تحت الحمراء سنة 1983 (الشكل 2.12). وجاء التأكيدُ الفوتوغرافي المباشر أولاً من نجمٍ مجاور هو كرسيّ المصوِّر بيتا Beta Pictoris الذي يبعد زهاء 50 سنة ضوئية. ويحتمل أن تكون الأقراصُ الأكثر سُمكاً المحيطة بنجوم فتيَّةٍ منظوماتٍ كوكبيةً مازالت في مراحل تكوُّنها الأولى؛ وأن تكون أكثر الأقراص رقّةً حول نجومٍ هرمةٍ موادَّ متخلِّفةً عن كواكب كانت قد تكوَّنت من قبل.



الشكل 2.12 قرصٌ غباريٌّ حول النجم HD141569 الواقع على بُعد نحو 320 سنة ضوئية في كوكبة الميزان.

هذا وتتعذَّر رؤيةُ الكواكب التي تنتمي إلى نجومٍ أخرى - في حال وجودها أصلاً - ، وذلك بسبب تواريها في وهج نجومها. ويبحث علماءُ الفلك عن كواكب رفيقةٍ غير مرئيةٍ باستعمال ثلاث تقنيات غير مباشرة هي:

1. رَصْد الحركة الحقيقية للنجم المرئيِّ المرصود:

قد يسبِّبُ الشدُّ التثاقليُّ للكواكب الكبيرة ترنُّحاً wobble طفيفاً في الحركة الحقيقية. فنجم بارنارد (الحوّا والحويَّة) Ophiuchusمثلاً - وهو ثالث أقرب النجوم إلينا - يتميَّز بأكبر حركة حقيقية معروفة، وقد جرى تصويره فوتوغرافياً على مدى سنوات. وفي سنة 1943 رُصِدَ ترنُّحٌ في حركته لم يتجاوز 0,01 من حجم صورة النجم، كُشِف عنه بصعوبة بالغة. لكنَّ كوكباً ما لم يتأكَّد وجودُه على وجه اليقين.

2. رَصْد السرعةِ الشعاعية للنجم المرئيِّ المرصود:

قد يسبِّب الشدُّ التثاقليُّ للكواكبِ الكبيرةِ تغيُّراً صغيراً، لكنه قابلٌ للقياس، في السرعة الشعاعية. فلدى مراقبة نجم الفرس الأعظم Pegasi 51 الشبيه بالشمس والذي يبعد 50 سنة ضوئية، رُصِدَ سنة 1995 انزياحٌ دوبلريٌّ ضئيلٌ في خطوطه الطيفيَّة، مشيراً إلى حدوث تغيُّرات في سرعته الشعاعية. تعزى هذه التغيُّراتُ إلى أوّل كوكب مؤكَّد خارجَ حدود المنظومة الشمسية يطوف بنجمٍ نظاميّ؛ وهو كوكبٌ حارٌّ بحجم كوكب المشتري، دانٍ من نجمه.

يواصل علماءُ الفلك عاكفين على دراسة أطياف مئات النجوم القريبة، واكتشاف كواكب غير مرئية. ففي سنة 1999 أعلنوا عن اكتشاف أول منظومة كوكبيَّة تقع خارجَ حدود المنظومة الشمسية extrasolar planetary system، وهي مجموعةٌ مؤلَّفةٌ من ثلاثة كواكبَ كبيرةٍ تطوف حول نجم أپسيلون أندروميدا (المرأة المسلسلة) Upsilon Andromedae. نجمٌ من النوع F يبعد 44 سنةً ضوئية.

3. رَصْد تردُّد النبضات الراديوية من نبّاضات الميلي ثانية millisecond pulsars (الزمن بين النبضات المتعاقبة يقدَّر بأجزاء من ألف من الثانية).

رُصِدَ نبّاض الميلي ثانية المعروف للفلكيين باسم PSR1257 + 12 (وهو من أقرب نبّاضات الميلي ثانية، يقع على بُعد 1500سنة ضوئية في كوكبة العذراء) باستعمال مقراب آريسيبو Arecibo الراديوي في پورتو ريكو. وكُشِفَ عن تبدُّلات دورية طفيفة في تردُّد الأمواج الراديوية المستقبَلَة. في سنة 1992 عُزِيَتْ هذه التبدُّلات إلى الشّدّ التثاقلي الذي يخضع له النجمُ النبّاض بتأثير كوكبَيْن أو ثلاثة كواكب طوّافة.

على أنَّ آراء العلماء تتخالف في هذه المسألة، لأنها تقتضي سلفاً

وجودَ منظومة كوكبية منسَّقة حول نجمٍ نبَّاض تولَّد وسط إشعاعاتِ الانفجار العنيفة واختلاط الأحوال السائدة (الفقرةً 5.16)، في حين يبحث أنصارُها عن اضطرابات أخرى ناشئة عن ارتكاسات تثاقلية متبادلة في ما بين الكواكب المفترَضة نفسِها.

ماذا يدلُّ الترنُّحُ في حركة نجمٍ مرئي؟

....

الجواب: يدلُّ ترنُّح النجم على وجود كواكبَ رفيقةٍ غيرِ مرئيَّة.



الشكل 3.12 الرحلات الفضائية الأمريكية المأهولة منذ سنة 1961 حتى الآن. مركبات/صواريخ إطلاق، من اليسار إلى اليمين: ميركوري/أطلس؛ جيميني/تيتان 2؛ أبولو/ساتيرن 5؛ سكاي لاب/ساتيرن 5؛ أبولو/ساتيرن1 -Bسوْيوز؛ مكوك الفضاء أوربتر/خزان وقود خارجي ومعزِّزات دفع صاروخية بوقود صلب.

8.12 ارتياد الفضاء

لا شك في أن الرحلات البينجمية (إلى نجومٍ أخرى) interstellar travel ستكون أكثرَ الوسائل إثارةً للبحث عن وجود حضاراتٍ أخرى في الكون. إلا أننا غير مهيَّئين بعدُ للقيام برحلة تضرب في أعماق الفضاء الكوني.

فحتى أقرب النجوم إلينا يبعد عدة سنوات ضوئية. وليس في قدرة أيٍّ من مَرْكباتنا الفضائية الانتقال بما يقارب سرعةَ الضوء على كل الأحوال. ومن ثم فإن القيام برحلة إلى نجم حَضَار ؟ مثلاً (وهو أقرب نجمٍ ساطعٍ إلى الشمس) بالسرعة التي انتقل بها روّادُ مركبة أپولو إلى القمر، سيتطلّب آلاف السنين!

كان روّادُ الفضاء الروس أوَّلَ من غزا الفضاءَ من البشر؛ فقد قام يوري غاغارين Yuri Gagarin (1934 ـ 1968) بالدوران حول الأرض مرةً واحدة في مركبة فوستوك Vostok 1 بتاريخ 12 نيسان (أبريل) 1961، ثم هَبَطَ بعد ساعة واحدة و48 دقيقة. ثم طافت ڤالنتينا تيريشكوڤا Valentina V. Tereshkova حول الأرض 48 مرة بتاريخ 16 ـ 19 حزيران (يونيو) 1963، لتكون بذلك أوَّلَ امرأة تفعل ذلك.

وفي غضون السنوات العشرين التالية، ابتكرت كلٌّ من روسيا والولايات المتحدة مركَبات فضائيةً مطَّردة التطوُّر، حلَّقَتْ كلٌّ منها مرةً واحدة، ويُعرض أغلبُها اليومَ في متاحفَ فضائية (الشكل 12 . 3).

وتُجرى اليومَ تجاربُ علميةٌ على متن محطات فضائية space stations (وهي أقمارٌ صُنعيَّةٌ تُطلَق إلى مداراتٍ ثابتةٍ حول الأرض، وتديرها طواقم طوّافةٌ معها)، ومَرْكَبات فضائية مكّوكيّة space shuttles (مَرْكَبات معدَّة للاستعمال مرات كثيرة، وتقوم بمهمات قد تدوم أسبوعاً أو نحوه في مدار الأرض). يُلحَق بالمكوك الفضائي ـ في حُجَيْرات خاصة فيه ـ عادةً وحدةٌ

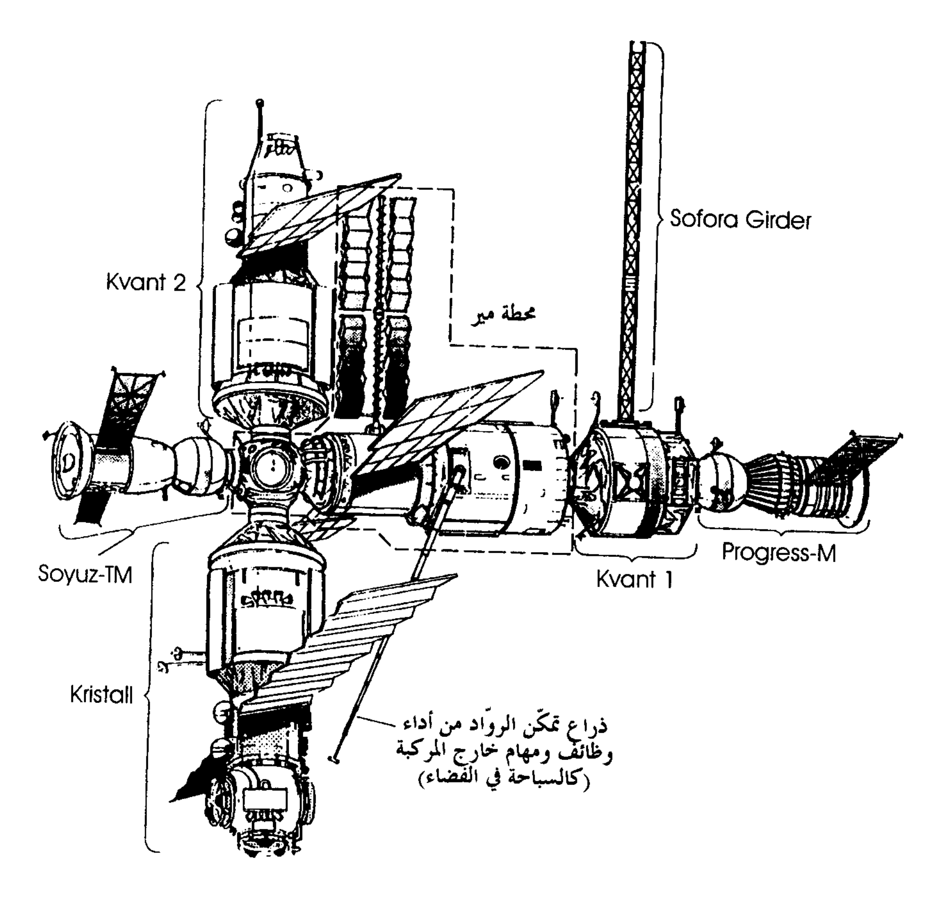
مخبرية مهيَّأة لإجراء تجارب تتَّصل بالثقالة الصّغرية microgravity[1] (الشكل 4.12).



الشكل 4.12 وقت تناول الطعام تحت وطأة الثقالة الصّغرية لرائدَيْ مكوك الفضاء أتلانتيس، الأمريكيَّيْن: إيلين س. بيكر ومايكل ج. ماكولي.

ينصبُّ اهتمامُ البحوث الحالية على دراسة الآثار الطبيّة الحيوية biomedical effects للثقالة الصغرية، وعلى استقصاء الوسائل الكفيلة بمساعدة البشر على التكيُّف معها، وكذلك على استكشاف الفضاء واستغلاله الاستغلالَ الأمثل.

(1) الثقالة الصّغرية مصطلحٌ يدل على الثقالة التي تقارب الصفر، كالتي يعانيها رائدُ فضاءٍ في مركبةٍ طوّافة في الفضاء الخارجي. (المعرِّب)



الشكل 5.12 استضافت محطةُ الفضاء الروسيةُ مِير أطولَ رحلات القرن العشرين الفضائية، واستُعملتْ فيها وحداتٌ مستقلةٌ لإقامة الروّاد ولإجراء التجارب العلمية وأعمال معالجة المواد. في حين قامت محطةُ الفضاء سوْيوز TM بنقل الطاقم الفضائي ومؤونة المركبة الربوطية بروغريس M.

هذا وقد سجَّل روّادُ الفضاء الرّوس أطولَ الرحلات الفضائية على متن محطة الفضاء مِيْر Mir؛ فقد ضرب الدكتور ڤاليري پولياكوف Valery Polyakov رقماً قياسياً عالمياً في المكوث في الفضاء بلغَ 438 يوماً و18 ساعة في سنة 1995، علماً بأن الروّاد يعتريهم تغيُّرٌ ملحوظٌ يؤثر في وظائف أعضائهم وكيمياء أجسادهم وصحتهم العقلية، نتيجةً لطول المقام في حالة انعدام الوزن.

متى دخلَ أولُ إنسان الفضاء؟ ....

الجواب: بتاريخ 12 نيسان (أبريل) 1961 (يوري غاغارين).

9.12 مسابير النجوم

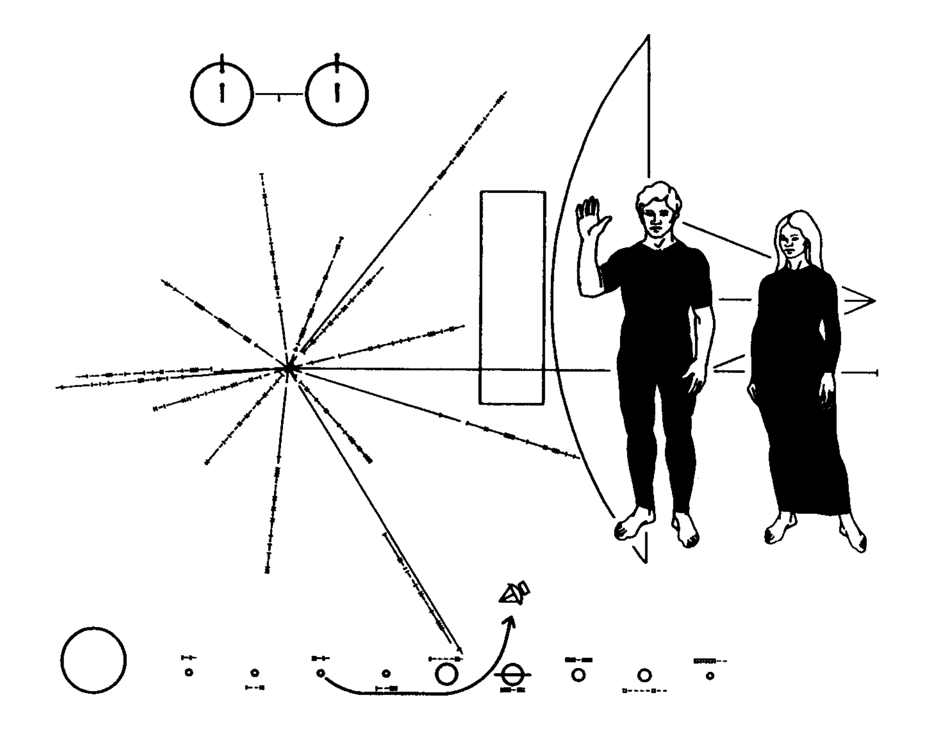
مازال إطلاقُ مسابيرَ ربوطيَّة عالية السرعة إلى النجوم في الوقت الحاضر أمراً باهظ الكلفة إلى حدٍّ بعيد.

ثمة أربع مركبات فضائية أمريكية تجوس الفضاءَ البَيْنجميَّ الآن، بعد أن أتمَّت مهامَّ رحلاتها إلى الكواكب العملاقة. وهي تحمل رسائلَ رمزيةً لأيّ كائنات ذكيَّة قد تصادفها بعيداً وراء منظومتنا الشمسية.

كانت بيونير Pioneer 10 أوَّلَ مركبة فضائية تتجاوز حدودَ منظومتنا الشمسية سنة 1983، وهي ذاتُها التي كانت من قبلُ أوَّلَ مركبة تخترق الطَّوقَ الكويكبيَّ سنة 1973 وتبثُّ صُوَراً لكوكب المشتري ملتقَطَةً عن قرب. ثم تَلَتْها صِنْوُها بيونير 11 سنة 1990. وقد حملت كلٌّ من المرْكَبَتَيْن رسالةً رمزيةً على شكل لوَيْحة معدنية (بلاك) يُقصَد منها بيان زمان إطلاق المركبتَيْن ومكانه والجهة التي نَفَّذَته (الشكل 6.12).

وتحمل مركبتا ڤوياجر Voyager 1 و2 (الفقرة 8.12) سجلاً فريداً من معلومات وأصوات وصُوَر مرمَّزة إلكترونياً لأفضل ما على الأرض ولخيرة أهلها. ضُمِّنَ ذلك في حافظة cartridge زُوِّدت بتعليمات التشغيل؛ فالحضارات المحتَمَلة في الفضاء يمكنها أن تسمع تسجيلاتِ أصواتِ الرياح والأمواج، والطيور وسائر الحيوان، والموسيقى، ورَجْع القُبَل وبكاء الطفل والتحية بستّين لساناً.

ومركبتا ڤوياجر هاتان مبرمجتان لدراسة المنابع فوق البنفسجية في ما بين النجوم؛ إذ تبحث أجهزتُهما الخاصة بالحقول والجُسَيْمات عمّا سمّيناه



الشكل 6.12 أول رسالة من الأرض (وهي لويحةٌ معدنيةٌ تذكارية (پلاك) على متن مركبتَي الفضاء پيونير 10 و 11) تشير إلى زمان إطلاق كلٍّ منهما، ومكانِه، والجهةِ المسؤولة عنه.

الانقطاعَ الشمسي heliopause، حيث ينتهي تأثيرُ الشمس ويبدأ الفضاءُ البَينجميّ. ويُنتظَر أن تستمرَّ المركبتان ببثٍّ معطيات عالية القيمة حتى سنة 2015، عندما تعود منابعُ قدرتهما النوويةِ غيرَ قادرة على توفير الطاقة الكهربائية اللازمة لذلك.

ويتساءل الناس أحياناً عن مخلوقات غريبة من المحتمل أنها تَفِدُ إلى الأرض من عوالِمَ أخرى، ولاسيما عن طريق روايات يتناقلها العامةُ حول أجسامٍ طائرة مجهولة المنشأ (أو ما يسمى بالأطباق الطائرة) UFOs.

على أن سواد العلماء يعتقدون أن دعوى مشاهدات الأجسام الطائرة المجهولة على أنها كائناتٌ غريبةٌ هي أبعد الروايات احتمالاً. وهم يطلبون

دليلاً مادّيّاً من قبيل قطعة من مركبة فضائية دخيلة يُخضِعونها للدراسة المخبريّة[1]. غير أن شيئاً من هذا لم يتسَنَّ حتى الآن.

لماذا كان من غير المرجّح أن تُغزَى الأرضُ من الفضاء بكائنات معادية، كما زعم بعض المُرْجِفين؟ ....

....

....

الجواب: إن قَطْعَ مسافات شاسعة بين النجوم يستغرق أزماناً متطاولةً جداً تُسْتَنْزَف معها مصادرُ طاقة كثيرةٌ، بحيث لا تسوِّغُ العمليةَ مهما كانت غاياتُها. هذا إذا وُجدتْ حضاراتٌ أُخَر على مستوىً من الرقيّ يضاهي مستوى حضارتنا.

10.12 التواصل

إن لدينا القدرةَ على التواصل بسرعة الضوء مع حضارات أخرى، باستعمال الأمواج الراديوية.

فيمكننا، باستعمال أجهزة الإرسال والاستقبال التي بين أيدينا، أن نبثّ رسالةً راديويةً من الأرض، يمكن أن تكشفها حضاراتٌ أخرى كحضارتنا عبر مجرة درب التبانة. وبمقدورنا ـ بالمقابل ـ أن نتبيّنَ رسائلَ راديويةً من مقاريب راديوية تقع على بُعد آلاف السنين الضوئية، على ألاّ تكون أقوى من مقاريبنا.

(1) وحَذارِ من الاعتقاد بأن الصُوَر الفوتوغرافية هي براهين قاطعة لا جدال فيها، إذ بالإمكان الحصول على صُوَرٍ فلمية رائعة عن طريق عدم ضبط بؤرة العدسة، أو بسبب وجود سديم جوّي أو انعكاسات في العدسة، أو عدم ثبات آلة التصوير، أو أخطاء في التظهير والطباعة وغير ذلك. وانظر:

Marcel Minnaert, Light and Color in the Outdoors. Translated into English by Len Seymour, New York, Springer Verlag, 1993, Section 233, pp. 318-319 (المعرِّب)

في سنة 1974 بُثّتْ إلى الفضاء راديوياً رسالةٌ مرمَّزة من الأرض، كان الهدف منها في المقام الأول عرضَ قدرات المقراب الراديويّ العملاق في آريسيبو، پورتو ريكو. وُجِّهتْ تلك الإشارةُ تلقاء الحشد الكريّي M13 في كوكبة هِرَقْل (الجاثي) الذي يبعد 24،000 سنة ضوئية. وقد أظهرت الحساباتُ أن أقصر زمن يلزم للحصول على جواب الرسالة من الحشد الكريّي M13 بسرعة الضوء هو 48،000 سنة!

وتنصَبُّ البحوثُ الحاليةُ على محاولة تلقّي إشارات راديوية ذكية صادرة عن حضارات أخرى تقع خارج منظومتنا الشمسية، فذلك أرخصُ وأيسرُ وآمَنُ من تَعمُّد الاستمرار في إرسال الإشارات إلى حين معرفة مكان وجود الحضارات الأخرى ودرجة ائتلافها مع الإنسان.

يُذكَر أن باكورةَ المساعي لاستقبال إشارات ذكية، جاءت من مشروع أوزما Project Ozma التابع للمصدر الوطني للفلك الراديوي (NRAO) في منطقة غرين بانك غرب ڤيرجينيا؛ حيث قام الفلكيُّ فرانك دريك بالإصغاء إلى نجمَيْن مجاورَيْن هما: تاو ڤيطس Tau Ceti، وإپسيلون النهر Epsilon Eridani. لكن أيَّ إشارات ذكية لم تُكشَفْ لا في حينه ولا فيما بعد.

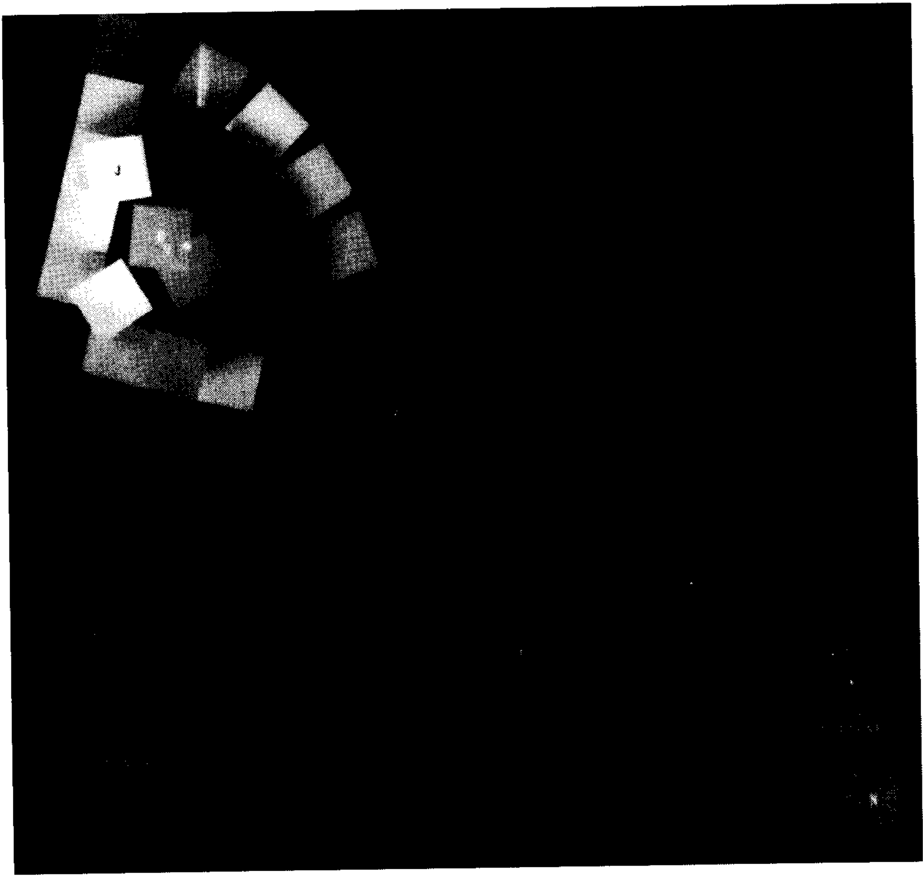
وغنيٌّ عن القول إن الإخفاق في مسعىً كهذا ليس أمراً مستغرباً؛ فحتى لو أن ثمة حضارات أخرى تحاول الكشفَ عن نفسها لنا فعلاً، فيُحتمل كثيراً ألاّ نكون قد اتّخذنا الاتجاه الصحيح في الوقت المناسب، أو ضبطنا تماماً على التردُّد الصحيح. فالعمليةُ إذن أشبه بمحاولة للعثور على إبرة في كومة قشّ، عن طريق النظر فحسب حيناً بعد حين، وحتى دون إدراك معنى «الإبرة» المنشودة.

كم ـ على وجه التقريب ـ يستغرق وصول رسالة بالأمواج الراديوية من الأرض إلى أقرب منظومة نجمية إلى الشمس، وهي ألفا قنطورس (نجم حضار ألفا)، علماً بأنها تبعد 4,3 سنوات ضوئية؟ ....

الجواب: 4,3 سنوات (لأن الأمواجَ الراديوية تنتقل بسرعة الضوء)

11.12 بحثٌ دؤوب

بات بإمكان العلماء البحث عن ذكاء خارج حدود الأرض، مستعينين بما في حوزتهم من المقاريب الراديوية وأجهزة الكومبيوتر.



الشكل 7.12 أوّلُ «صورة» لمنظومتنا الشمسية كما بدتْ من الخارج. اتّجهتْ مصوِّراتُ مركبة الفضاء ڤوياجر 1 نحو الخلف والتقطتْ سلسلةً من الصور الفوتوغرافية للشمس والكواكب من بُعد يقارب 6 مليارات كيلو متر (4 مليارات ميل)، وعند الدرجة 32° فوق مستوي فلك البروج، بتاريخ 14 شباط (فبراير) 1990.

أهم ما في الأمر هو البحث عن إشارة راديوية ضعيفة غير محدَّدة، صادرة عن اتجاه غير معروف؛ إذ لا يمكن بحال تحديدُ بُعد جهة البثّ عنّا على وجه الدقة، ولا معرفة الترددات التي تستعملها.

تقع الترددات المرجوَّةُ لنجاح اتصالنا الأول ما بين 1400 و 1700 ميغاهرتز. وغالباً ما يسمّى هذا المجالُ «الثقبَ المائيّ» المجرّي galactic waterhole الذي سنلتقي عنده جميعاً، علماً بأن أيّ إشارة مضمَّنة (معدّلة) modulated في منطقة الأمواج الصغرية هذه ستبرز واضحةً لأن الأجرامَ السماويةَ تُصْدر إشعاعاً كهرطيسياً طبيعياً عند الترددات العالية والمنخفضة. كذلك يتطلّب جهاز الإرسال أدنى طاقة متاحة لتوليد إشارة قابلة للكشف فوق ضجيج الخلفية الطبيعي.

والآمال معقودةٌ اليوم على المنظومات المؤتْمتة المتيسّرة، التي تؤدي فيها أجهزةُ الكمبيوتر دورَ محلِّلات طيفية متعددة القنوات multichannel spectrum analyzers (MCSA)، أو مستقبلات راديوية لنطاق أعرض من الترددات التي تمسح ملايين القنوات الراديوية دفعةً واحدة.

وهكذا فإن البحوثَ الحاليةَ لتعرُّف حضارات أخرى خارج الأرض جادّةٌ وحثيثة، وهي تستغرق نوعَيْن متتامَّيْن من الاستراتيجية:

1. مَسْح مجمل السماء all-sky survey، على امتداد مجالٍ تردّديّ واسع بغية كشف إشارات قوية. وفي هذا الإطار تقوم المقاريب ذات الـ 34 متراً، التابعة لشبكة أعماق الفضاء (DSN) في نصفَي الكرة الشمالي والجنوبي بمسح تردّدات تقع بين 1000 و 10،000 ميغاهرتز، فضلاً على بعض الترددات الميسورة حتى 25،000 ميغاهرتز.

2. البحث الموجَّه targeted search العالي الحساسية الذي يتوخّى التقاط إشارات ضعيفة تتولّد بجوار نجومٍ قريبة كالشمس. يستهدف هذا البحث 1000

نجم حتى مسافة 100 سنة ضوئية عن الأرض، ضمن المجال الترددي 1000 إلى 3000 ميغاهرتز، إضافة إلى أيّ ترددات ميسورة حتى 10،000 ميغاهرتز.

وإذا صحّ العزمُ على إنجاز بحوث أكثر شمولاً في المستقبل، فلربما كان من المناسب استعمال محلِّلات متعددة القنوات أكثر حساسيةً، وهوائيات (أو صفيفات من الهوائيات) أكبر حجماً وأعلى كفاءة، مع الأخذ ببعض الخيارات البديلة المحتملة، كنشر هوائيات دائمة في الفضاء أو على سطح القمر أو...

تَخيَّلْ أنك دُعيتَ - بصفتكَ مواطناً - للإدلاء بصوتك، مؤيداً أو معارضاً، للانضمام إلى حملة دولية جادّة بحثاً عن حضارات أُخَر. كيف تُصوِّت؟ ولماذا؟ ....

....

....

....

الجواب: تصويتكَ يعبِّر عن رأيك الخاص. أنا شخصياً أصوِّت تأييداً لحملة بحث دولية مجدية؛ فإذا عثرنا على حضارات أخرى ذكية، فقد نتعلّم منها كيف نذلِّل المشكلات التي تهدِّد بقاءنا على كوكب الأرض اليوم. وإذا لم نعثر، فحسبنا أننا أنفقنا أموالاً في غايات صالحة، إذ كان من الممكن أن نتوقّع بالمقابل مكاسب كبيرة في التعايش السلميّ والمعرفيّ لخير الإنسانية، انطلاقاً من التزام دوليّ بدعم مساعٍ فكرية وعلمية على هذا المستوى[1].

(1) مَنْ شاء الاستزادة من موضوع هذا الفصل فلينظر مثلاً: Life in the Universe في كتاب: Explorations: an Introduction to Astronomy, Essay 5. Thomas Arny, Mosby, 1994, pp. E5-0 - E5-11

ولينظر كذلك في مجموعة مقالات قصيرة شائقة بعنوان: «البحث عن كائنات ذكية خارج كوكبنا»، في مجلة العلوم، المجلد 18 - العددان 2/ 3، فبراير/ مارس 2002، الصفحات 70 - 79.

اختبار ذاتي

يُقصد بهذا الاختبار الذاتي الاطمئنان إلى تمكُّنك من المادة الواردة في الفصل الثاني عشر وتمثُّلك لها. حاولِ الإجابة عن كلِّ سؤالٍ جَهدَ استطاعتك، ثم انظر في الأجوبة الصحيحة والتوجيهات الخاصة بالمراجعة في ذيل الاختبار.

1 . اذكر ملاحظتين رصديَّتين تدعمان النظريةَ القائلة بأن طلائع الكائنات الحية على الأرض قد تكون تطوُّراً تلقائياً لموادَّ كيميائية لاحَيَّة

....

....

....

....

....

2 . لخِّص النظريةَ العلميةَ التي تتَّصل بنشوء الحياة الذكيَّة على الأرض من كائنات حيَّة بسيطة وحيدة الخليَّة ....

....

....

....

....

....

....

....

....

3 . بَيِّنْ لماذا أُجريتْ على كوكبِ المرّيخ بالذات بواكيرُ البحث عن الحياة على كواكب أخرى ....

....

....

....

....

4 . اشرح نوعَيْن من الأرصاد التي قد تدلِّل على كواكب تطوف حول نجومٍ غير الشمس.

(1) ....

....

....

(2) ....

....

....

....

....

5 . ما أبعدُ العوامل عن اليقين في تقديرات الاحتمالات الإحصائية لوجود حياةٍ ذكيةٍ خارج الأرض؟ ....

....

6 . ما هي الرؤيةُ العلميةُ السائدةُ اليومَ عن الأجسامِ الطائرةِ المجهولة؟

....

....

....

....

7 . انسبْ كلاً من السوابق التالية إلى المركبة الفضائية المناسبة:

-- (أ) أول إنسان في الفضاء (يوري غاغارين).

-- (ب) مركبة فضائية معدَّة للاستعمال عدة مرات.

-- (ج) مركبة فضائية تغادر المنظومةَ الشمسية حاملةً رسالةً من الأرض.

-- (د) بحث عن الحياة على سطح كوكبٍ آخر.

(1) مكوك فضائي.

(2) بيونير 10.

(3) ڤايكينغ 1 و 2.

(4) ڤوستوك 1.

8 . لماذا يركِّز العلماءُ على استقبال إشاراتٍ راديويةٍ ذكيَّة في بحثهم عن حياةٍ محتَملةٍ على كواكب تدور حول نجومٍ أخرى وراء الشمس؟

....

....

....

....

....

9 . اذكر استراتيجيَّتَيْ بحثٍ متتامَّتَيْن وشائعَتَيْن حالياً.

(1) ....

....

....

(2) ....

....

....

الأجوبة

قارنْ أجوبتك عن أسئلة الاختبار الذاتي بالأجوبة التالية، فإن أخطأتَ في بعضها فعُدْ إلى الفقرات ذات الصلة، والمشار إليها بين قوسين بعد الإجابة. وربما لزمك إعادة قراءة الفصل بكامله بدقةٍ أكبر إذا تعدَّدت أخطاؤك.

1. (1) يقرُّ علماء البيولوجيا أن وجود كل الكائنات الحيّة على الأرض يعتمد على عددٍ قليلٍ من جزيئاتٍ عضويةٍ أساسية يمكن تصنيعُها في المختبرات بتفعيل ذرّات غازية.

(2) يحمل الڤيروسُ الاعتيادي صفاتٍ من الكائنات الحيَّة والجزيئات اللاحَيَّة في آنٍ معاً.

(الفقرتان 12.1 و12.3).

2. يؤكِّد مبدأُ الاصطفاء الطبيعي - أو بقاء الأصلح - ظهورَ تغيُّراتٍ في صفات الأنماط الحيَّة من جرّاء تكاثرها. وقد وُجِد أن أصلح العناصر كان تلك التي تحمل التغيُّرات المرغوبة التي ساعدت العناصرَ على البقاء. تلك العناصرُ الصالحةُ أتيحَ لها الحظُّ الأوفر للنضج وأداء وظيفة التكاثر. وهكذا انتقلت الصفاتُ المرغوبة واختفت الصفات غير المرغوبة بطريق الاصطفاء الطبيعي. ولما كان الذكاءُ صفةً مرغوبةً، فقد نشأت كائناتٌ ذكيةٌ من خلايا بسيطةٍ بدائية، على مدى ملايين السنين، في ظلِّ الظروف البيئية المتباينة التي كانت قائمةً على الأرض.

(الفقرة 12.4)

3. يقع المرّيخ ضمن المنطقة الشمسية الصالحة للعيش. وثمة دلائل على أن المياه قد جرت في ماضي الزمان على سطحه. كذلك وُجِد أنَّ بإمكان نباتات وميكروبات أرضية معيَّنة البقاء حيَّةً في ظروف بيئية شبيهة بتلك السائدة على المرّيخ. يضاف إلى هذا أن قُربَ الكوكب من

الأرض يجعل الرحلةَ إليه مجديةً اقتصادياً.

(الفقرات: 5.12 و8.12 و9.12)

4. (1) بالرصد المباشر: وجود قرصٍ حول نجميّ قد يكون منظومةً كوكبية في مرحلة تكوُّنها الأولى.

(2) بالرصد غير المباشر: وجود اضطراب قد يكون ناشئاً عن الشدّ التثاقليّ للكواكب الكبيرة الكتلة؛ مثل: ترنُّح في الحركة الحقيقية لنجم، أو انزياح دوپلري في خطوطه الطيفيَّة يدل على تغيُّرات في السرعة الشعاعية، أو تغيُّرات دوريَّة طفيفة في تردُّد الأمواج الراديوية المستقبَلَة من نبّاض ميلي ثانية.

(الفقرة 7.12)

5. العُمر الوسطي لحضارةٍ ذكية.

(الفقرة 6.12)

6. لا يعتقد معظم العلماء أن كائناتٍ قد وفدت إلينا من عوالم أخرى. وهم يطلبون دليلاً ملموساً من قبيل قطعةٍ من مركبةٍ فضائيةٍ دخيلة يخضعونها للدراسة المخبرية. غير أن شيئاً من هذا لم يتسنَّ حتى الآن.

(الفقرة 9.12)

7. (أ) 4؛ (ب) 1؛ (ج) 2؛ (د) 3.

(الفقرات: 1.12 و8.12 و9.12)

8. إن أقربَ النجوم إلينا يقع على بُعد عدة سنوات ضوئية، ومن ثم يتعذَّر علينا الوصول إليها. إلا أننا نمتلك القدرةَ على التواصل مع حضارات أخرى بسرعة الضوء باستعمال الأمواج الراديوية. والتركيز على استقبال إشارات ذكية هو أرخصُ وأيسرُ وآمَنُ من الاستمرار في إرسالها إلى حين معرفة مكان وجود الحضارات الأخرى ودرجة ائتلافها مع الإنسان.

(الفقرات: 8.12 إلى 10.12)

9 . (1) مسح مجمل السماء، على امتداد مجالٍ تردُّديٍّ واسع بغية الكشف عن إشاراتٍ قوية.

(2) البحث العالي الحساسيَّة الموجَّه إلى نجومٍ قريبة كالشمس، ضمن مجال تردُّد أضيق.

(الفقرة 11.12)

الخاتمة

علم الفلك يبعث النفس على النظر إلى الأعلى، والانطلاق من هذا العالم إلى عالم آخر.

أفلاطون (نحو 428 ـ 348 قبل الميلاد)
The Republic

قَطَعَ علمُ الفلك شوطاً بعيداً من التقدُّم منذ أن بدأ الأقدمون بالتفكُّر في أسرار الكون ونواميسه. ومع ذلك فإن ما اكتُشِف حتى اليوم ما هو إلا غيضٌ من فيضٍ من مكتَشَفاتٍ مثيرةٍ مازالت تنتظر. يجدر بك ـ وقد سَلكْتَ بدايةَ الطريق وتمكّنتَ من المفاهيم الأساسية ـ أن ترعى السماء متأمِّلاً في عجيب صنعة الكون، وأن تجد متعةً وفائدة في رصد المكتشفات الحالية أكثر من أي وقتٍ مضى!

مصادر مفيدة

منشورات دوريَّة

Air & Space-Smithsonian, Smithsonian Institution, 901 D Street, S.W., 10th Floor, Washington, D.C. 20024. www.airspacemag.com

Astronomy, Kalmbach Publishing Co., Box 1612, Waukesha, WI 53187. www.astronomy.com

The Griffith Observer, Griffith Observatory, 2800 East Observatory Road, Los Angeles, CA 90027. www.griffithobs.org/observer,html

Mercury, Astronomical Society of the Pacific, 390 Ashton Avenue, San Francisco, CA 94112. www.aspsky.org/subpages/Mercury.html

National Geographic, 17th and M Streets, NW, Washington, DC 20036. www.nationalgeographic.com

Natural History, Membership Services, Box 6000, Des Moines, IA 50340. www.amnh.org/naturalhistory

Science News, 1719 N Street, NW, Washington, DC 20036.

Scientific American, 415 Madison Avenue, New York, NY 10017. www.scientificamerican.com

Sky and Telescope, Sky Publishing Corp., 49 Bay State Road, Cambridge, MA 02138. www.skypub.com

أدلَّة في الشبكة

Sky and Telescope's Astronomical Directory.

دليل القِباب الفلكية، والمراصد، والمتاحف، والنوادي الفلكية، والجمعيات، والتجّار، والمصنِّعين، والمؤسسات في الولايات المتحدة، وكندا، والمكسيك، وأوروبا، وأستراليا، ونيوزيلندا.

www.skypub.com/resources/directory/directory.shtml

Astronomy's Activity Guide.

دليل النوادي الفلكية، والأحداث، والأماكن، والمؤسسات في الولايات المتحدة، وكندا.

www2.astronomy.com/astro

American Astronomical Society Membership Directory.

دليل سنوي للشركات، والناشرين، والأفراد، والمؤسسات الدولية، وفي أمريكا الشمالية.

http://directory.aas.org

كُتُب للمؤلّفة دينا ل. موشيه www.spacelady.com

AMAZING ROCKETS, Golden Books, New York, NY

AMAZING SPACE FACTS, 2nd edition, Golden Books, New York, NY

ASTRONOMY, 5th edition, John Wiley & Sons, New York, NY

ASTRONOMY TODAY, 2nd edition, updated regularly, Random House, New York, NY

THE ASTRONAUTS, Random House, New York, NY

THE GOLDEN BOOK OF SPACE EXPLORATION, Golden Books, New York, NY

IF YOU WERE AN ASTRONAUT, 2nd edition, Golden Books, New York, NY

LABORATORY MANUAL FOR INTRODUCTORY ASTRONOMY -editor and co-author

LIFE IN SPACE, Ridge Press/A & W Publishers, New York, NY

MAGIC SCIENCE TRICKS, Scholastic Book Services, New York, NY

MARS, Franklin Watts, New York, NY

MORE MAGIC SCIENCE TRICKS, Scholastic Book Services, New York, NY

MY FIRST BOOK ABOUT SPACE, Golden Books, New York, NY

RADIATION, Franklin Watts, New York, NY

SEARCH FOR LIFE BEYOND EARTH, Franklin Watts, New York, NY

WHAT'S UP THERE? QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT STARS AND SPACE, updated regularly, Scholastic Book Services, New York, NY

WHAT'S DOWN THERE? QUESTIONS AND ANSWERS ABOUT THE OCEAN, Scholastic Book Services, New York, NY

WE'RE TAKING AN AIRPLANE TRIP, Golden Books, New York, NY

معلومات عن الحياة المهنية

A Career in Astronomy, The American Astronomical Society, Education Officer, Bruce Partridge, Haverford College, Haverford, PA 19041. bpartrid@haverford.edu.

Degree Programs in Physics and Astronomy in U.S. Colleges and Universities, American Institute of Physics, www.aip.org

(a) Physics in Your Future, and (b) Women in Science by Dinah L. Moché, Ph. D., American Association of Physics Teachers, One Physics Ellipse, College Park, MD 20740.

تقاويم وأدلّة رصد وكُتب مصوَّرات نجميّة

A Field Guide to the Stars and Planets, 4th edition, by Donald H. Menzel and Jay M. Pasachoff (Boston: Houghton Mifflin Co., 1999).

All About Telescopes by Sam Brown (Barrington, NJ: Edmund Scientific Co.).

The Astronomical Almanac, issued annually by the U.S. Naval Observatory (Washington, DC: U.S. Government Printing Office, yearly). Current information about Sun, Moon, planets, eclipses, and occultations.

Burnham's Celestial Handbook, Volumes 1, 2, and 3, Revised edition (New

York: Dover Publications, Inc., 1980). Observer's guide to space beyond the solar system.

Norton's Star Atlas and Reference Handbook, edited by Ian Ridpath (White Plains, NY: Longman Publishing Group, 1998).

Observer's Handbook, edited by Roy L. Bishop, issued annually by the Royal Astronomical Society of Canada, 136 Dupont Street, Toronto, Ontario M5R1V2. Information and tables on the Sun, Moon, planets, asteroids, meteor showers, and other celestial phenomena.

Sky Atlas 2000.0, 2nd edition, by Wil Tirion (Cambridge, MA: Cambridge University Press, 1999).

Sky Calendar (East Lansing, MI: Abrams Planetarium, Michigan State University, yearly).

مؤسسات وجمعيات فلكية

American Association of Variable Star Observer
25 Birch Street — www.aavso.org
Cambridge, MA 02138
(617) 354-0484

American Association of Physics Teachers
One Physics Ellipse — www.aapt.org
College Park, MD 20740
(301) 209-3333

American Astronomical Society
2000 Florida Avenue, NW, Suite 300 — www.aas.org
Washington, DC 20009

Astronomical League and Astronomy Day
5675 Real del Norte — www.astroleague.com

Las Cruces, NM 88012
(505) 382-9131

Astronomical Society of the Pacific
390 Ashton Avenue www.aspsky.org
San Francisco, CA 94112
(415) 337-1100

British Astronomical Association
Burlington House, Piccadilly www.ast.cam.ac.uk/˜baa/
London W1V ONL, England

International Planetarium Society
c/o Taylor Planetarium www.ips-planetarium.org
Museum of the Rockies
Montana State University
600 Kagy Blvd., Bozeman, MT 59717

National Science Teachers Association
1840 Wilson Blvd. www.nsta.org
Arlington, VA 22201
(703) 243-7100

National Space Society
600 Pennsylvania Avenue, SE www.nss.org
Washington, DC 20003
(202) 543-1900

Royal Astronomical Society
Burlington House, Piccadilly www.ras.org.uk/ras
London W1V ONL, England

Royal Astronomical Society of Canada
136 Dupont Street www.rasc.ca
Toronto, Ontario, Canada, M5R 1V2
(416) 924-7973

Society of Amateur Radio Astronomers
247 North Linden Street www.bambi.net/sara.html
Massapequa, NY 11758
(516) 798-8459

The Planetary Society
65 North Catalina Avenue http://planetary.org
Pasadena, CA 91106
(818) 793-5100

علم الفلك واستكشاف الفضاء على شبكة الإنترنت

تتزايد على الشبكة كمية المعلومات الحديثة والصور الكونية المثيرة المتعلقة بعلم الفلك واستكشاف الفضاء تزايداً يومياً. وتتيح لك مواقعُ وِبْ التالية نفاذاً سريعاً إلى أفضل المواقع الفلكية والفضائية على الشبكة، عن طريق توفير وصلات ترابطية مختارة، إلى مواقع كثيرة دقيقة وبارزة، مرتَّبةً بحسب الموضوعات:

صور فلكية مثيرة

Anglo-Australian Observatory Image Collection

صُوَر فوتوغرافية جديدة للنجوم، والمجرّات، والسُّدُم، من أستراليا.
www.aao.gov.au/images.html

Astronomy Picture of the Day

صورة جديدة كل يوم، مع شروح، ووصلات، وأرشيف.

antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/astropix.html

Hubble Heritage Photos

أعظم اللقطات من مقراب هَبلْ الفضائي، تضاف شهرياً وتدخل الأرشيف.

heritage.stsci.edu/

NASA Image Exchange

قاعدة معطيات من الصُوَر للعرض والبحث، مجموعة من عشرة من مراكز وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية (ناسا).

nix.nasa.gov

NASA's Planetary Photo Journal

صُوَر متاحة للعموم من برامج استكشاف المنظومة الشمسية.

photojournal.jpl.nasa.gov/

National Optical Astronomy Observatories Image Gallery

صُوَر من مقاريب Kitt Peak، و NSO/Sac Peak، و Gemini.

www.noao.edu/

Space Telescope Science Institute

مقراب هَبلْ الفضائي: صور ونشاطات.

www.stsci.edu

استكشافات فضائية وفلكية عامة

Astronomy Magazine's Selected Astronomy Web Sites

معطيات وفهارس، مواقع ومقاريب للمبتدئين والأطفال.

www2.astronomy.com/Astro/HotLinks/hotlinks.html

Griffith Obsevatory Star Awards

مواقع فلكية تعرض معلومات مفيدةً ودقيقة بأسلوب منظَّم وجذّاب.

www.griffithobs.org/star/award.html

National Aeronautics and Space Administration (NASA) Homepage

جولة في وكالة أبحاث الفضاء الأمريكية (ناسا): فعالياتها، أخبارها، مراكزها، برامجها، استكشافاتها الإنسانية والرَّبوطية، علم الأرض والفضاء، وبرامج من (ناسا) موجَّهة للأطفال.

www.nasa.gov

Sky and Telescope Resources Links

فهارس عن مواقع وِبْ، أبحاث للمحترفين والهواة، مقاريب، رصد، خرائط نجميّة، رحلات فضائية محمولة جوّاً وربوطيَّة ومأهولة، معطيات وأدلَّة مباشرة في الشبكة، برمجيات مجانية وتشاركية للعموم.

www.skypub.com/resources/links/links.shtml

موادّ تعليمية

American Astronomical Society Education Office

مصادر لأساتذة الطلبة الجامعيّين وطلبة الدراسات العليا، والعامة.

www.aas.org/education/index1.html

NASA Core Central Operation of Resources for Educators

لنشر منتجات ناسا التعليمية المتعدِّدة الوسائط في جميع أنحاء العالم بأدنى كلفة.

core.nasa.gov/

NASA Education Program

مصادر وبرامج وتقاويم من وكالة ناسا للمعلِّمين، والطلاب، وجمهور العامة.

http://education.nasa.gov

National Optical Observatories Educational Outreach Program

معلومات وبرامج وموادّ للناشئة وطلاب الكليات من وضع علماء من

المراصد الفلكية البصرية الوطنية .NOAO

www.noao.edu/education/noaoeo.html

Spacelink

مصادر ومواد تعليمية وخدمات ومكتبة للمعلِّمين من وكالة ناسا.

spacelink.nasa.gov/.index.html

Sky Publishing Astronomy Education Links

منظَّمات ووسائط ومراجع فلكية عامة، والمنظومة الشمسية، ومصادر تعليمية ودورات ومخيَّمات.

www.skypub.com/resources/links/astroeducation.html

الملحق 1

البروج (الكوكبات)

الاسم	المختصر	المعنى	المرجع	
			الارتقاء المستقيم	المَيْل
Andromeda	And	المرأة المسلسلة	1^h	+40°
Antlia	Ant	مضخة الهواء	10^h	-35°
Apus	Aps	طائر الفردوس	16^h	-75°
Aquarius	Aqr	الدلو	23^h	-10°
Aquila	Aql	النسر	$19^h 30^m$	+5°
Ara	Ara	المجمَرة	$17^h 30^m$	-55°
Aries	Ari	الحَمَل	2^h	+20°
Auriga	Aur	ذو الأعنَّة	$5^h 30^m$	+40°
Bootes	Boo	العوّاء	$14^h 30^m$	+30°
Caelum	Cae	آلة النقّاش	$4^h 30^m$	-40°
Camelopardalis	Cam	الزرافة	6^h	+70°
Cancer	Cnc	السرطان	$8^h 30^m$	+20°
Canes Venatici	CVn	كلاب الصيد	$12^h 30^m$	+40°
Canis Major	CMa	الكلب الأكبر	7^h	-20°
Canis Minor	CMi	الكلب الأصغر	$7^h 30^m$	+5°
Capricornus	Cap	الجدي	21^h	-20°
Carina	Car	الجؤجؤ	9^h	-60°
Cassiopeia	Cas	ذات الكرسي	1^h	+60°
Centaurus	Cen	قنطورس	13^h	-50°
Cepheus	Cep	قيفاوس	22^h	+65°
Cetus	Cet	قيطس	2^h	-10°
Chamaeleon	Cha	الحرباء	10^h	-80°
Circinus	Cir	الفرجار	15^h	-60°
Columba	Col	الحمامة	6^h	-35°
Coma Berenices	Com	ذؤابة برنيكي	13^h	+25°
Corona Australis	CrA	الإكليل الجنوبي	19^h	-40°
Corona Borealis	CrB	الإكليل الشمالي	$15^h 30^m$	+30°
Corvus	Crv	الغراب	$12^h 30^m$	-20°

الاسم	المختصر	المعنى	المرجع	
			الارتقاء المستقيم	المَيْل
Crater	Crt	الباطية	$11^h 30^m$	-15°
Crux	Cru	الصليب الجنوبي	$12^h 30^m$	-60°
Cygnus	Cyg	الدجاجة	20^h	+40°
Delphinus	Del	الدلفين	$20^h 30^m$	+15°
Dorado	Dor	سيّاف البحر	5^h	-60°
Draco	Dra	التنين	18^h	+70°
Equuleus	Equ	قطعة الفرس	21^h	+10°
Eridanus	Eri	النهر	$3^h 30^m$	-20°
Fornax	For	الفرن، الكور	3^h	-30°
Gemini	Gem	الجوزاء	7^h	+25°
Grus	Gru	الكركي	22^h	-40°
Hercules	Her	هرَقل، الجاثي	17^h	+35°
Horologium	Hor	الساعة	3^h	-50°
Hydra	Hya	حيّة الماء	11^h	-20°
Hydrus	Hyi	ثعبان الماء	2^h	-70°
Indus	Ind	الهندي	21^h	-50°
Lacerta	Lac	العظاءة	$22^h 30^m$	+50°
Leo	Leo	الأسد	$10^h 30^m$	+20°
Leo Minor	LMi	الأسد الأصغر	$10^h 30^m$	+35°
Lepus	Lep	قواع	$5^h 30^m$	-20°
Libra	Lib	الميزان	15^h	-15°
Lupus	Lup	الذئب	$15^h 30^m$	-40°
Lynx	Lyn	الوشَق	8^h	+50°
Lyra	Lyr	الشلياق	$18^h 30^m$	+35°
Mensa	Men	الجبل	$5^h 30^m$	-75°
Microscopium	Mic	المجهر	21^h	-35°
Monoceros	Mon	وحيد القرن	7^h	-5°
Musca	Mus	الذبابة	12^h	-70°
Norma	Nor	المربَّع	16^h	-50°
Octans	Oct	الثُمن	0^h -25^h	-90°
Ophiuchus	Oph	الحوّا والحويّة	17^h	0°
Orion	Ori	الجبّار	$5^h 30^m$	0°
Pavo	Pav	الطاووس	20^h	-65°
Pegasus	Peg	الفرس المجنّح	$23^h 30^m$	+20°
Perseus	Per	فرساوس	$3^h 30^m$	+45°
Phoenix	Phe	العنقاء	1^h	-50°
Pictor	Pic	كرسي المصوِّر	6^h	-55°

الاسم	المختصر	المعنى	المرجع الارتقاء المستقيم	الميْل
Pisces	Psc	الحوت	$23^h 30^m$	$+5^\circ$
Piscis Austrinus	PsA	الحوت الجنوبي	23^h	-30°
Puppis	Pup	الكوثل	8^h	-40°
Pyxis	Pyx	البوصلة	9^h	-30°
Reticulum	Ret	الشبكة	4^h	-60°
Sagitta	Sge	السهم	20^h	$+20^\circ$
Sagittarius	Sgr	القوس	$18^h 30^m$	-30°
Scorpius	Sco	العقرب	17^h	-30°
Sculptor	Scl	النحّات	0^h	-30°
Scutum	Sct	الدِّرع	$18^h 30^m$	-10°
Serpens	Ser	الحيّة	16^h	0°
Sextans	Sex	السُّدس	10^h	-5°
Taurus	Tau	الثور	$4^h 30^m$	$+15^\circ$
Telescopium	Tel	المقراب	19^h	-50°
Triangulum	Tri	المثلّث	2^h	$+30^\circ$
Triangulum Australe	TrA	المثلث الجنوبي	16^h	-65°
Tucana	Tuc	الطوقان	$23^h 30^m$	-65°
Ursa Major	UMa	الدب الأكبر	11^h	$+60^\circ$
Ursa Minor	UMi	الدب الأصغر	15^h	$+70^\circ$
Vela	Vel	الشراع	9^h	-50°
Virgo	Vir	العذراء	13^h	-10°
Volans	Vol	السمك الطائر	8^h	-70°
Vulpecula	Vul	الثعلب	$19^h 30^m$	$+25^\circ$

الملحق 2

ثوابت فيزيائية وفلكية

c = 299,792,458 meter per second	سرعة الضوء
$G = 6.673 \times 10^{-11}\ Nm^2\ Kg^{-2}$	ثابت الجاذبية
$\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ Wm^{-2}\ K^{-4}$	ثابت ستيفان-بولتزمان
$m_e = 9.1094 \times 10^{-31}$ Kg	كتلة الإلكترون
$m_H = 1.67352 \times 10^{-24}$ gram	كتلة ذرة الهيدروجين
$m_p = 1.67262 \times 10^{-27}$ Kg	كتلة البروتون
$AU = 1.49597870 \times 10^{11}$ m	الوحدة الفلكية
$pc = 3.085678 \times 10^{16}$ m = 3.261631 light-years	الفرسخ الفلكي
$LY = 9.460536 \times 10^{15}$ m	السنة الضوئية
$M_\odot = 1.9891 \times 10^{30}$ Kg	كتلة الشمس
$R_\odot$ = 696,265 Km	نصف قطر الشمس
$L_\odot = 3.85 \times 10^{26}$ W	الإشعاع الشمسي
$M_o = 5.974 \times 10^{24}$ Kg	كتلة الأرض
R_o = 6,378.140 Km	نصف قطر الأرض الاستوائي
$RA = 17^h\ 45.7^m$, Dec $-29^\circ 00'$ (2000)	اتجاه مركز المجرّة
d_E = 86,400 seconds	يوم التقويم الفلكي
= 365.2422 ephemeris days	السنة المدارية (من الاعتدال إلى الاعتدال)
= 365.2564 ephemeris days	السنة النجمية (الفلكية)

الملحق 3

رموز وواحدات قياس

واحدات القياس المترية والأمريكية

التحويل التقريبي إلى الواحدات الأمريكية

الطول
1سم = 0.39 إنش
1سم = 0.03 قدم
1متر = 1.1 ياردة
1كم = 0.6 ميل
المساحة
1سم^2 = 0.16 إنش مربع
1م^2 = 11 قدم مربع
1م^2 = 1.2 ياردة مربعة
1كم^2 = 0.4 ميل مربع
الكتلة (الوزن)
1غ = 0.03 أونصة
1كغ = 2.2 باوند
1طن = 1.1 طن أمريكي
الحجم
1ليتر = 0.26 غالون
1م^3 = 35 قدم^3
1م^3 = 1.3 يارد^3
درجة الحرارة
$°F = 9/5\ °C + 32$ (F = فارنهايتية، C = مئوية)
$°F = 9/5\ °K - 460$ (K = كلفن)

واحدات القياس الزاويّة

تتألف الدائرة من 360 درجة أو °360

والدرجة من 60 دقيقة قوسية أو ′60

والدقيقة من 60 ثانية قوسية أو ″60.

حروف اللغة اليونانية

ألفا	A	α	نيو	N	ν
بيتا	B	β	ساي	Ξ	ξ
غاما	Γ	γ	أوميكرون	O	o
دلتا	Δ	δ	باي	Π	π
إبسيلون	E	ε	رو	P	ρ
زيتا	Z	ζ	سيغما	Σ	σ
إيتا	H	η	تاو	T	τ
ثيتا	Θ	θ	أبسلون	Y	υ
أيوتا	I	ι	فاي	Φ	φ
كابا	K	κ	كاي	X	χ
لامدا	Λ	λ	بسي	Ψ	ψ
ميو	M	μ	أوميغا	Ω	ω

رموز الشمس والقمر والنجوم

♇ بلوتو	♂ المريخ	☉ الشمس
● قمر جديد	♃ المشتري	☾ القمر
☽ التربيع الأول	♄ زحل	☿ عطارد
○ قمر بدر	♅ أورانوس	♀ الزهرة
☾ التربيع الأخير	♆ نبتون	⊕ الأرض

علامات دائرة البروج

♐ القوس °240	♌ الأسد °120	♈ الحَمَل °0
♑ الجدي °270	♍ العذراء °150	♉ الثور °30
♒ الدلو °300	♎ الميزان °180	♊ الجوزاء °60
♓ الحوت °330	♏ العقرب °210	♋ السرطان °90

الملحق 4

جدول التصنيف الدوري للعناصر

العدد الذري ← 11
الاسم ← صوديوم
الرمز ← Na
الوزن الذري ← 23

IB	IIB	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIII
							2 هليوم **He** 4
		5 بورون **B** 11	6 كربون **C** 12	7 نتروجين **N** 14	8 أكسجين **O** 16	9 فلور **F** 19	10 نيون **Ne** 20
		13 ألمنيوم **Al** 27	14 سيليكون **Si** 28	15 فوسفور **P** 31	16 كبريت **S** 32	17 كلور **Cl** 35	18 أرغون **Ar** 40
29 نحاس **Cu** 64	30 زنك **Zn** 65	31 جاليوم **Ga** 70	32 جرمانيوم **Ge** 73	33 زرنيخ **As** 75	34 سلنيوم **Se** 79	35 بروم **Br** 80	36 كريبتون **Kr** 84
47 فضة **Ag** 108	48 كادميوم **Cd** 112	49 إنديوم **In** 115	50 قصدير **Sn** 119	51 أنتيمون **Sb** 122	52 تلوريوم **Te** 128	53 يود **I** 127	54 زنون **Xe** 131
79 ذهب **Au** 197	80 زئبق **Hg** 201	81 ثاليوم **Tl** 204	82 رصاص **Pb** 207	83 بزموث **Bi** 209	84 بولونيوم **Po** 210	85 إستاتين **At** 210	86 رادون **Rn** 222

65 تربيوم **Tb** 159	66 ديسبروسيوم **Dy** 163	67 هولميوم **Ho** 165	68 أربيوم **Er** 167	69 ثوليوم **Tm** 169	70 يتربيوم **Yb** 173	71 لوتتيوم **Lu** 175
97 بركليوم **Bk** 247	98 كاليفورنيوم **Cf** 251	99 أينشتينيوم **Es** 254	100 فرميوم **Fm** 253	101 مندلفيوم **Md** 256	102 نوبليوم **No** 254	103 لورنسيوم **Lr** 257

	Group IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIII		
1	1 هيدروجين **H** 1									
2	3 ليثيوم **Li** 7	4 بريليوم **Be** 9								
3	11 صوديوم **Na** 23	12 مغنزيوم **Mg** 24								
4	19 بوتاسيوم **K** 39	20 كالسيوم **Ca** 40	21 سكانديوم **Sc** 45	22 تيتانيوم **Ti** 48	23 فاناديوم **V** 51	24 كروم **Cr** 52	25 منغنيز **Mn** 55	26 حديد **Fe** 56	27 كوبالت **Co** 59	28 نيكل **Ni** 59
5	37 ربيديوم **Rb** 85	38 سترنتيوم **Sr** 88	39 يتريوم **Y** 89	40 زركونيوم **Zr** 91	41 نيوبيوم **Nb** 93	42 موليبدنوم **Mo** 96	43 تكنتيوم **Tc** 99	44 روثنيوم **Ru** 101	45 روديوم **Rh** 103	46 بلاديوم **Pd** 106
6	55 سيزيوم **Cs** 133	56 باريوم **Ba** 137	57 لنثانوم **La** 139	72 هفنيوم **Hf** 178	73 تنتالوم **Ta** 181	74 وولفران **W** 184	75 رنيوم **Re** 186	76 أزميوم **Os** 190	77 أريديوم **Ir** 192	78 بلاتين **Pt** 195
7	87 فرانسيوم **Fr** 223	88 راديوم **Ra** 226	89 أكتنيوم **Ac** 227	104 رذرفورديوم **Rf** 261	105 دوبريوم **Db** 262	106 سيبورجيوم **Sg** 266	107 بوريوم **Bh** 262	108 هاسيوم **Hs** 265	109 ميتريوم **Mt** 266	

6	58 سيريوم **Ce** 140	59 براسوديميوم **Pr** 141	60 نيوديميوم **Nd** 144	61 بروميثيوم **Pm** 147	62 ساماريوم **Sm** 150	63 يروبيوم **Eu** 152	64 جادولينيوم **Gd** 157
7	90 ثوريوم **Th** 232	91 بروتاكتنيوم **Pa** 231	92 يورانيوم **U** 238	93 نبتونيوم **Np** 237	94 بلوتونيوم **Pu** 242	95 امريكيوم **Am** 243	96 كوريوم **Cm** 247

الملحق 5

أقرب النجوم

النجم	البعد (سنة ضوئية)	الارتقاء المستقيم h m	المَيل ° ′	القدر الظاهري	الصنف الطيفي	اختلاف المنظر (مللي ثانية قوسية)	القدر المطلق
الشمس		— a	—	-26.72	G		4.8
قنطورس القريب	4.2	14 30	-62 41	11.01	M	722	15.5
حَضار α A B	4.4 4.4	14 40	-60 50	-0.01 1.35	G K	742 742	4.3 5.7
نجم بارنارد	5.9	17 58	+04 41	9.54	M	549	13.2
وولف 359	7.8	10 56	+07 01	13.46	M	419	16.6
BD + 36° 2147	8.3	11 03	+35 58	7.49	M	392	10.5
الشِّعرى اليمانية A B	8.6	06 45	-16 43	-1.44 8.44	A DA	379	1.5 11.3
لايتن 726-8A B	8.7	01 39	-17 56	12.56 12.96	M M	373	15.4 15.8
روس 154	9.7	18 50	-23 50	10.37	M	337	13.0
روس 248	10.3	23 42	+44 09	12.27	M	316	14.8
النهر ε	10.5	03 33	-09 27	3.72	K	311	6.2
CD - 36° 15693	10.7	23 06	-35 51	7.35	M	304	9.8
روس 128	10.9	11 48	+00 48	11.12	M	300	13.5
لايتن 789-6ABC	11.2	22 39	-15 17	12.32	M	290	14.6
61 الدجاجة A B	11.4 11.4	21 07 21 07	+38 45 +38 45	5.20 6.05	K K	287 285	7.5 8.3
الشِّعرى الشامية A B	11.4	07 39 3	+05 13	0.40 10.7	F DF	286	2.7 13.0
BD + 59° 1915B A	11.5 11.6	18 43	+59 38	8.90 9.70	M M	285 280	12.0 11.2

ملاحظات: 1. إذا كان النجم ثنائية مرئية (كالشّعرى اليمانية مثلا) دلَّ الحرف A على المكوّن الذي هو أسطع، ودلَّ الحرف B على المكوّن الآخر.

2. أسماء النجوم: تسمى النجوم الساطعة بأسمائها (مثل: الشعرى اليمانية)؛ وتستعمل حروف باير Bayer اليونانية مع أسماء البروج عادة وفق درجات سطوعها (حَضَار α)، في حين تستعمل أرقام فلامستيد Flamsteed مع أسماء البروج بحسب ارتقائها المستقيم (61 الدجاجة). وتسمى النجوم الخافتة وفق أرقام ضمن دليل، من مثل: Bonner Durchmusterung-BD وDurchmusterung-CD وأدلة لايتن، و روس، و وولف، حيث ينفرد كلُّ دليل بنظام ترقيم خاصّ به.

3. إذا كان النجم قزماً أبيض (الشعرى اليمانية B مثلا)، أثبت صنفه الطيفي مسبوقاً بالحرف D.

المختصرات: h = ساعة، m = دقيقة زمنية، ′ = دقيقة قوسيّة، ° = درجة.

الملحق 6

أجرام ميسّييه

رقم ميسييه	الرقم في الدليل العام الجديد	الارتقاء المستقيم		المَيْل		الكوكبة	الوصف
(M)		h	m	°	′		
1	1952	5	34.5	+22	01	Tau	مخلفات مستعر فائق
2	7089	21	33.5	-0	49	Aqr	حشد كريّي
3	5272	13	42.2	+28	23	CVn	حشد كريّي
4	6121	16	23.6	-26	32	Sco	حشد كريّي
5	5904	15	18.6	+2	05	Ser	حشد كريّي
6	6405	17	40.1	-32	13	Sco	حشد مفتوح
7	6475	17	53.9	-34	49	Sco	حشد مفتوح
8	6523	18	03.8	-24	23	Sgr	سديم منتشر
9	6333	17	19.2	-18	31	Oph	حشد كريّي
10	6254	16	57.1	-4	06	Oph	حشد كريّي
11	6705	18	51.1	-6	16	Sct	حشد مفتوح
12	6218	16	47.2	-1	57	Oph	حشد كريّي
13	6205	16	41.7	+36	28	Her	حشد كريّي
14	6402	17	37.6	-3	15	Oph	حشد كريّي
15	7078	21	30.0	+12	10	Peg	حشد كريّي
16	6611	18	18.8	-13	47	Ser	حشد مفتوح
17	6618	18	20.8	-16	11	Sgr	سديم منتشر
18	6613	18	19.9	-17	08	Sgr	حشد مفتوح
19	6273	17	02.6	-26	16	Oph	حشد كريّي
20	6514	18	02.6	-23	02	Sgr	سديم منتشر
21	6531	18	04.6	-22	30	Sgr	حشد مفتوح
22	6656	18	36.4	-23	54	Sgr	حشد كريّي
23	6494	17	56.8	-19	01	Sgr	حشد مفتوح
24		18	16.9	-18	29	Sgr	(انظر الملاحظات)
25	IC4725	18	31.6	-19	15	Sgr	حشد مفتوح
26	6694	18	45.2	-9	24	Sct	حشد مفتوح
27	6853	19	59.6	+22	43	Vul	سديم كوكبي

رقم ميسييه	الرقم في الدليل العام الجديد	الارتقاء المستقيم		المَيْل		الكوكبة	الوصف
(M)		h	m	°	′		
28	6626	18	24.5	-24	52	Sgr	حشد كريّي
29	6913	20	23.9	+38	32	Cyg	حشد مفتوح
30	7099	21	40.4	-23	11	Cap	حشد كريّي
31	224	0	42.7	+41	16	And	مجرّة لولبية
32	221	0	42.7	+40	52	And	مجرّة اهليلجيه
33	598	1	33.9	+30	39	Tri	مجرّة لولبية
34	1039	2	42.0	+42	47	Per	حشد مفتوح
35	2168	6	08.9	+24	20	Gem	حشد مفتوح
36	1960	5	36.1	+34	08	Aur	حشد مفتوح
37	2099	5	52.4	+32	33	Aur	حشد مفتوح
38	1912	5	28.7	+35	50	Aur	حشد مفتوح
39	7092	21	32.2	+48	26	Cyg	حشد مفتوح
40		12	22.4	+58	05	UMa	(انظر الملاحظات)
41	2287	6	47.0	-20	44	CMa	حشد مفتوح
42	1976	5	35.4	-5	27	Ori	سديم منتشر
43	1982	5	35.6	-5	16	Ori	سديم منتشر
44	2632	8	40.1	+19	59	Cnc	حشد مفتوح
45		3	47.0	+24	07	Tau	حشد مفتوح
46	2437	7	41.8	-14	49	Pup	حشد مفتوح
47	2422	7	36.6	-14	30	Pup	حشد مفتوح
48	2548	8	13.8	-5	48	Hya	حشد مفتوح
49	4472	12	29.8	+8	00	Vir	مجرّة إهليلجية
50	2323	7	03.2	-8	20	Mon	حشد مفتوح
51	5194-5	13	29.9	+47	12	CVn	مجرّة لولبية
52	7654	23	24.2	+61	35	Cas	حشد مفتوح
53	5024	13	12.9	+18	10	Com	حشد كريّي
54	6715	18	55.1	-30	29	Sgr	حشد كريّي
55	6809	19	40.0	-30	58	Sgr	حشد كريّي
56	6779	19	16.6	+30	11	Lyr	حشد كريّي
57	6720	18	53.6	+33	02	Lyr	سديم كوكبي
58	4579	12	37.7	+11	49	Vir	مجرّة لولبية
59	4621	12	42.0	+11	39	Vir	مجرّة إهليلجية
60	4649	12	43.7	+11	33	Vir	مجرّة إهليلجية
61	4303	12	21.9	+4	28	Vir	مجرّة لولبية
62	6266	17	01.2	-30	07	Oph	حشد كريّي
63	5055	13	15.8	+42	02	CVn	مجرّة لولبية
64	4826	12	56.7	+21	41	Com	مجرّة لولبية

رقم ميسييه (M)	الرقم في الدليل العام الجديد	الارتقاء المستقيم h	m	المَيل °	′	الكوكبة	الوصف
65	3623	11	18.9	+13	05	Leo	مجرّة لولبية
66	3627	11	20.2	+12	59	Leo	مجرّة لولبية
67	2682	8	50.4	+11	49	Cnc	حشد مفتوح
68	4590	12	39.5	-26	45	Hya	حشد كريّي
69	6637	18	31.4	-32	21	Sgr	حشد كريّي
70	6681	18	43.2	-32	18	Sgr	حشد كريّي
71	6838	19	53.8	+18	47	Sge	حشد كريّي
72	6981	20	53.5	-12	32	Aqr	حشد كريّي
73	6994	20	58.9	-12	38	Aqr	(انظر الملاحظات)
74	628	1	36.7	+15	47	Psc	مجرّة لولبية
75	6864	20	06.1	-21	55	Sgr	حشد كريّي
76	650-1	1	42.4	+51	34	Per	سديم كوكبي
77	1068	2	42.7	-0	01	Cet	مجرّة لولبية
78	2068	5	46.7	+0	03	Ori	سديم منتشر
79	1904	5	24.5	-24	33	Lep	حشد كريّي
80	6093	16	17.0	-22	59	Sco	حشد كريّي
81	3031	9	55.6	+69	04	UMa	مجرّة لولبية
82	3034	9	55.8	+69	41	UMa	مجرّة غير منتظمة
83	5236	13	37.0	-29	52	Hya	مجرّة لولبية
84	4374	12	25.1	+12	53	Vir	مجرّة إهليلجية
85	4382	12	25.4	+18	11	Com	مجرّة إهليلجية
86	4406	12	26.2	+12	57	Vir	مجرّة إهليلجية
87	4486	12	30.8	+12	24	Vir	مجرّة إهليلجية
88	4501	12	32.0	+14	25	Com	مجرّة لولبية
89	4552	12	35.7	+12	33	Vir	مجرّة إهليلجية
90	4569	12	36.8	+13	10	Vir	مجرّة لولبية
91	4548	12	35.4	+14	30	Com	مجرّة لولبية
92	6341	17	17.1	+43	08	Her	حشد كريّي
93	2447	7	44.6	-23	52	Pup	حشد مفتوح
94	4736	12	50.9	+41	07	CVn	مجرّة لولبية
95	3351	10	44.0	+11	42	Leo	مجرّة لولبية
96	3368	10	46.8	+11	49	Leo	مجرّة لولبية
97	3587	11	14.8	+55	01	UMa	سديم كوكبي
98	4192	12	13.8	+14	54	Com	مجرّة لولبية
99	4254	12	18.8	+14	25	Com	مجرّة لولبية
100	4321	12	22.9	+15	49	Com	مجرّة لولبية

الوصف	الكوكبة	المَيْل		الارتقاء المستقيم		الرقم في الدليل العام الجديد	رقم ميسييه
		o	′	h	m		(M)
مجرّة لولبية	UMa	+54	21	14	03.2	5457	101
(انظر الملاحظات)							102
حشد مفتوح	Cas	+60	42	1	33.2	581	103
مجرّة لولبية	Vir	-11	37	12	40.0	4594	104
مجرّة إهليلجية	Leo	+12	35	10	47.8	3379	105
مجرّة لولبية	CVn	+47	18	12	19.0	4258	106
حشد كريّي	Oph	-13	03	16	32.5	6171	107
مجرّة لولبية	UMa	+55	40	11	11.5	3556	108
مجرّة لولبية	UMa	+53	23	11	57.6	3992	109
مجرّة إهليلجية	And	+41	41	0	40.4	205	110

ملاحظات حول أجرام أكثر شيوعاً

M1 سديم السرطان
M8 سديم لاغون
M11 حشد البطة البريّة
M16 يكتنفه سديم العقاب
M17 سديم أوميغا
M20 سديم ثلاثي الشعَب
M24 حقل نجمي في كوكبة القوس، يضم الحشدَ المفتوح NGC 6603
M27 سديم منتفخ الطرفين
M31 مجرة المرأة المسلسلة
M40 النجم المزدوج الخافت المسمى وينيك Winnecke 4، وقدره 9.0 و 9.6
M42 سديم الجبّار
M43 سديم الجبّار
M44 حشد النثرة أو القفير
M45 حشد الثريا، ليس له رقم في الدليل العام الجديد NGC، ولا في فهرس الدليل IC
M51 المجرة الدوامة
M57 السديم الحلقي
M64 مجرة العين السوداء
M73 مجموعة صغيرة من أربعة نجوم خافتة
M97 سديم آول Owl
M102 مكرر عن 101
M104 مجرة سومبريرو Sombrero

المصدر:

A. Hirshfeld and R. W. Sinnott (eds.), *Sky Catalogue 2000.0*, Vol. 2 (Sky Publishing Corp./Cambridge University Press, 1985).

خريطة القمر

Chart by George Lovi

السماء في الربيع

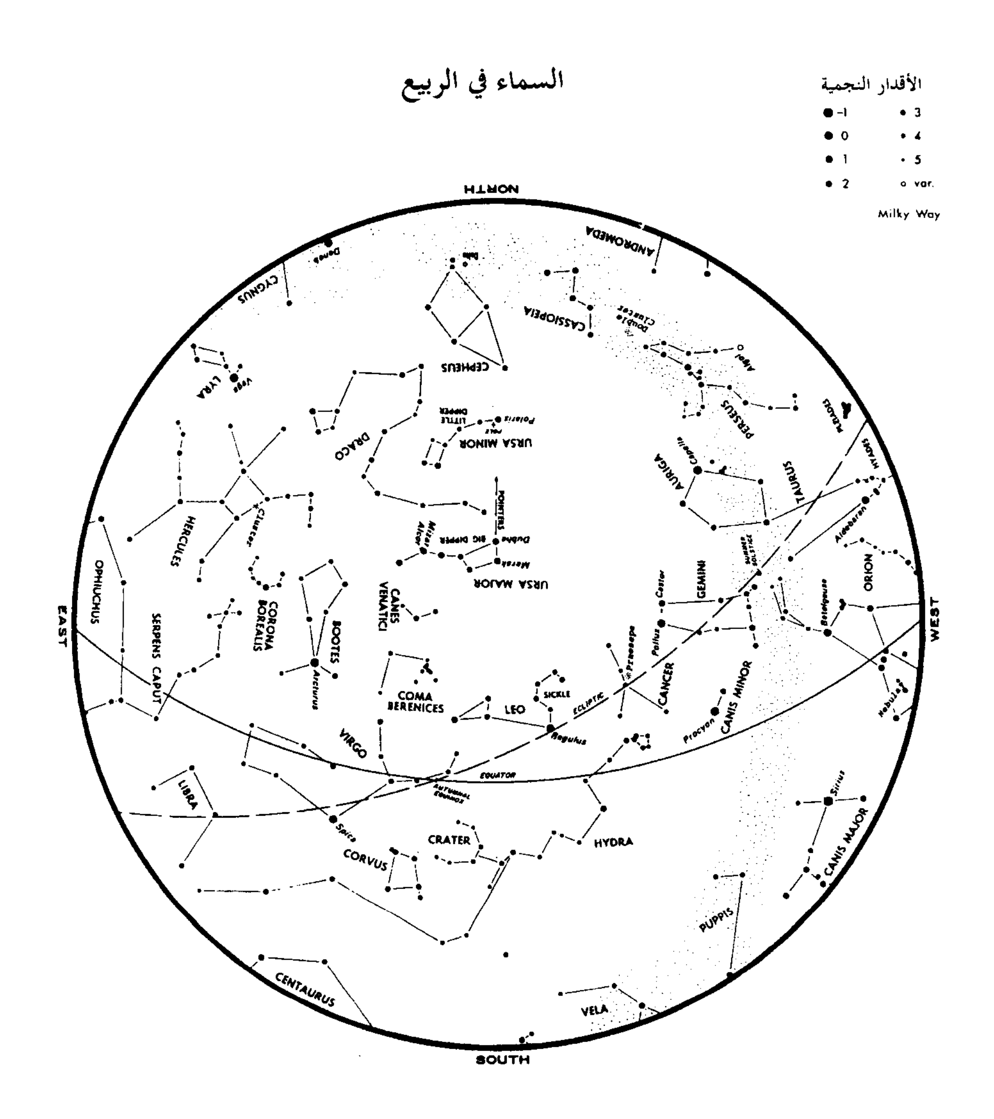


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

أواخر آذار (مارس) 11 مساء	أوائل أيار (مايو) 8 مساء
أوائل نيسان (أبريل) 10 مساء	أواخر أيار (مايو) 7 مساء
أواخر نيسان (أبريل) 9 مساء	أوائل حزيران (يونيو) 6 مساء

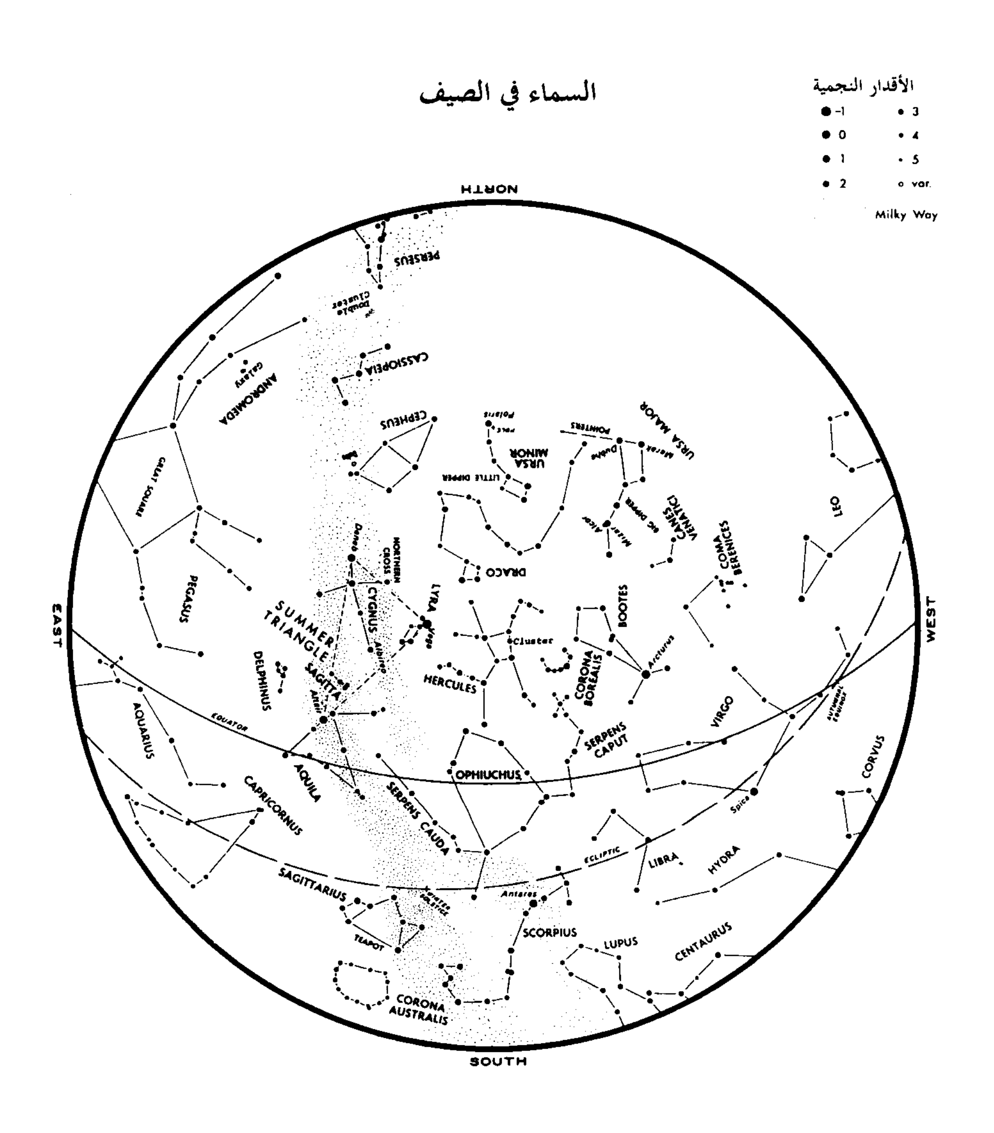


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

أواخر حزيران (يونيو)	11 مساء	أوائل آب (أغسطس)	8 مساء
أوائل تموز (يوليو)	10 مساء	أواخر آب (أغسطس)	7 مساء
أواخر تموز (يوليو)	9 مساء	أوائل أيلول (سبتمبر)	6 مساء

السماء في الخريف

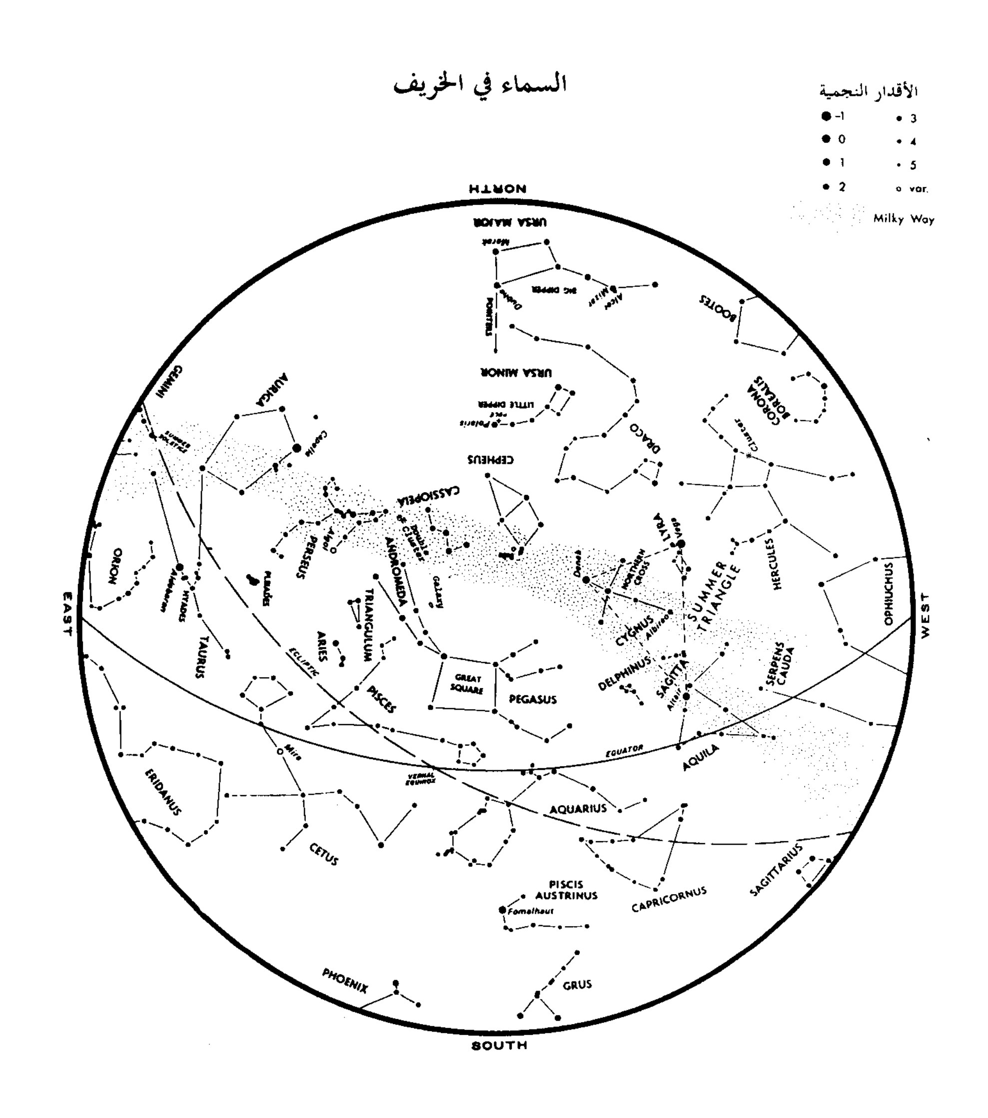


Chart by George Lovi

الجدول الزمني

أواخر أيلول (سبتمبر)	11 مساء	أوائل تشرين الثاني (نوفمبر)	8 مساء
أوائل تشرين الأول (أكتوبر)	10 مساء	أواخر تشرين الثاني (نوفمبر)	7 مساء
أواخر تشرين الأول (أكتوبر)	9 مساء	أوائل كانون الأول (ديسمبر)	6 مساء

السماء في الشتاء

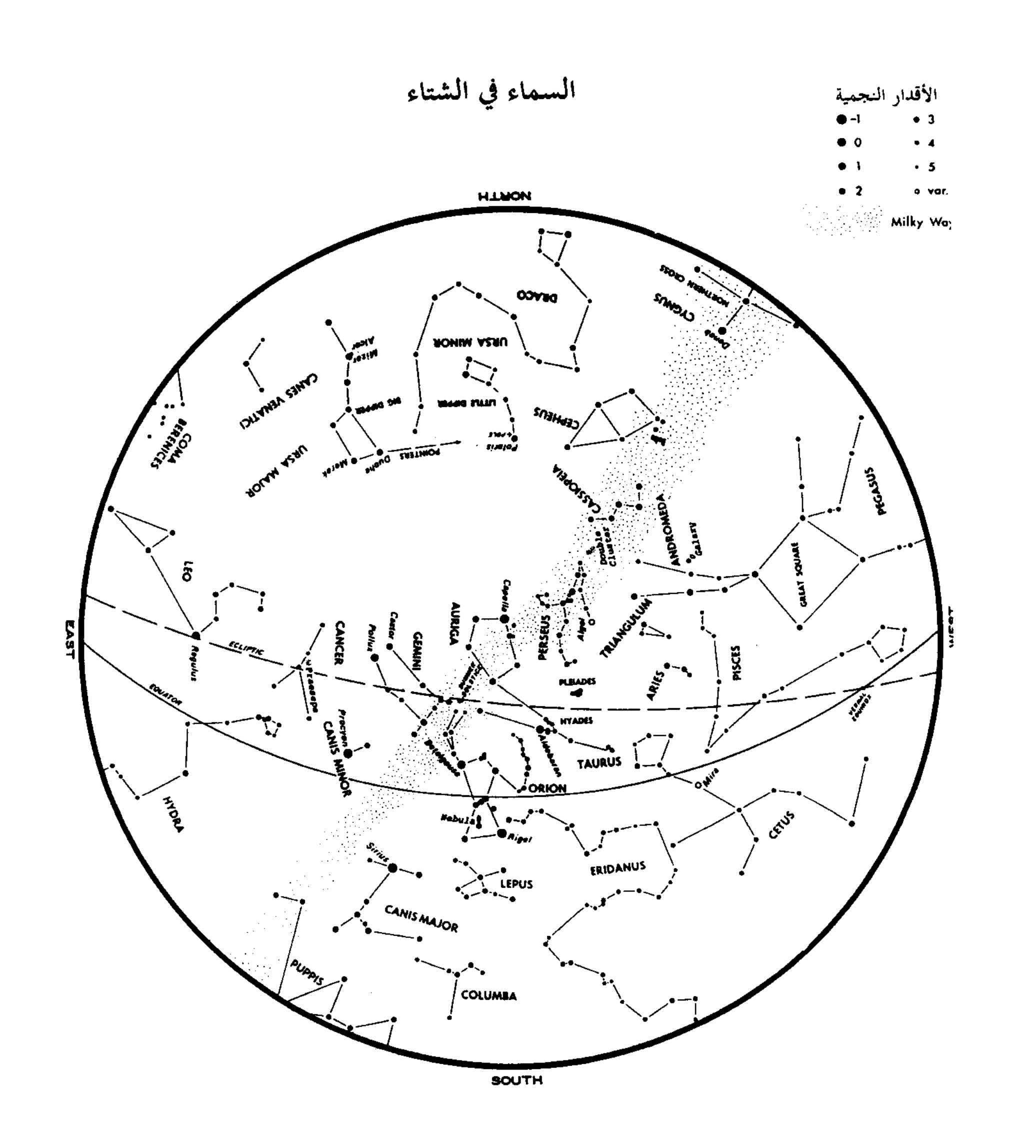


Chart by George Lov

الجدول الزمني

أواخر كانون الأول (ديسمبر)	11 مساء	أوائل شباط (فبراير)	8 مساء
أوائل كانون الثاني (يناير)	10 مساء	أواخر شباط (فبراير)	7 مساء
أواخر كانون الثاني (يناير)	9 مساء	أوائل آذار (مارس)	6 مساء



إنني أقدِّم شكري إلى عدد لا يُحصى من الطلاب والمحاضرين والقرَّاء والمستمعين الذين شكَّلت أسئلتهم وتعليقاتهم نصّ هذه الطبعة الخامسة.

وإني أخص بشكري للذين طالما شاركوني بحماس عجائب هذا الكون، وهم:

My home galaxy of stars Mollie and Bertram A. Levine; Elizabeth, Stephen, Lucy, Benjamin, and Robert Schwartz; and Rebecca, Rick, Cindy, Jessica, and Caroline Kahlenberg.

My counselor Ernest Holzberg, Esq. and friend Bonnie Brown.

The National Science Foundation Faculty Fellowship in Science awarded to me made possible advanced studies in astronomy.

Many luminaries have encouraged, influenced, and supported my work. I thank:

Stephen Kippur, Gerard Helferich, Kitt Allan, and Barbara Mele at John Wiley & Sons, Inc.

I appreciate the continued encouragement and support of those who contributed to earlier editions.

Thanks for the Fifth Edition go to: Joseph F. Veverka, Cornell University; Robert Garrison, David Dunlap Observatory; Alan Batten, Dominion Astrophysical Observatory; Peter Michaud, Gemini Observatory; Francois Spite, IAU; Christopher Jackson and Diana C. Madrigal, John Wiley & Sons; Michael Arida, Fred Espenak, Stephen P. Maran, Wayne Warren (GSFC), Alan Chamberlain, Mary Beth Murrill, Jane Platt (JPL), and Cheryl Gundy (STScI), NASA; David G. Finley, National Radio Astronomy Observatory; Roy L. Bishop, Royal Astronomical Society of Canada; Brian Marsden, Smithsonian Astrophysical Observatory; Geoff Chester, U.S. Naval Observatory; Harry Shipman, University of Delaware; and Helene Dickel, University of Illinois.

Fourth Edition: Steve Maran, American Astronomical Society; Maria Pallante, Authors Guild; Bob Finn, California Institute of Technology; Richard Dannay, Esq.; Pat Peterson, de Grummond Collection, University of Southern

Mississippi; Carol R. Leven, Freelance Administrator; Laurence A. Marschall, Gettysburg College; Nicholas L. Johnson, Kaman Sciences Corporation; Mary Beth Murrill, W. M. Keck Observatory; Keith Mordoff, Lockheed Missiles & Space Company, Inc.; Richard Jackson, Bill Santoro, Joe Schank, Mamaroneck Post Office; Constance Moore, Althea Washington (Headquarters), Alan S. Wood, Kimberly Lievense, Sharon Miller, Mary Hardin, Ed McNevin, Jurrie van der Woude, Gil Yanow (JPL), Charles Borland, Billie A. Deason, Lisa Vazquez (JSC), Allen Kenitzer (MSFC), Ray Villard (STSI) of the National Aeronautics and Space Administration; Emma Hardesty, Karie Myers, National Optical Astronomy Observatories; Director Paul A. Vanden Bout, Patrick C. Crane (VLA), Pat Smiley, National Radio Astronomy Observatory; Array; Roy Bishop, *Observer's Handbook*; Gloria Lubkin, *Physics Today*; Jacqueline Mitton, Royal Astronomical Society (U.K.); David Okerson, Science Applications International Corporation; George Lovi, Sky and Telescope columnist; Preston J. Campbell, TRW Federal Systems Division; John Percy, University of Toronto; Jay Pasachoff, Williams College.

Third Edition: I. Robert, Victor and Esther Rozen; Jack Flynn, Andrew Fraknoi, Juliana Ver Steeg, Astronomical Society of the Pacific; Director Sidney Wolff, Carl A. Posey, and Jeff Stoner, Kitt Peak National Observatory; Elyse Murray, Bernard Oliver, and Charles Seeger (Ames), Donald K. Yeomans (JPL), NASA; Ronald Ekers, Arnold H. Rots, and Don L. Swann, NRAO/VLA; Tobias Owen, SUNY/Stony Brook; Larry Esposito, University of Colorado; and Paul W. Hodge, University of Washington.

Second Edition: Lloyd Motz and Chien Shiung Wu, Columbia University; Harry L. Shipman, University of Delaware; Frank E. Bristow (JPL), Les Gaver, David W. Garrett, Curtis M. Graves, William D. Nixon (Headquarters), Peter W. Waller (Ames), and Terry White (JPL), NASA; Janet K. Wolfe, National Air and Space Museum; Richard W. West, NSF; Henry D. Berney, Thomas Como, Donald Cotten, Julius Feit, Sheldon E. Kaufman, Valdar Oinas, Robert Taylor, and Kurt R. Schmeller, Queensborough Community College of CUNY; and Arnold A. Sterassenburg, SUNY/Stony Brook.

بيان مصادر الصور والمعلومات

إننا نشكر جمعية الفلكيين الأمريكيين لتوفيرها عشرات من التحقيقات الصحفية وبيانات بوقائع وصور كونية. لقد مكّنتنا هذه الخدمات من تحقيق الدقّة وتجديد المعلومات في نصوص هذا الكتاب. وإن المؤسسات والأفراد التالية أسماؤهم هم أصحاب الصور:

California Association for Research in Astronomy: 2.15

C.S.I.R.O: 2.17

Hale Observatories: 6.4; 6.9; 6.16; 7.2; 9.28; 11.5; 11.7

Kitt Peak National Observatory: 4.7a; 5.1

Leiden Observatory: 6.10

Lowell Observatory: 9.22

NASA: I.1; 2.12; 2.19; 2.20; 4.1; 4.5; 4.12; 4.13; 5.1a; 5.14; 6.3; 6.13; 6.14; 6.23; 7.8; 8.2; 8.14; 8.16; 9.1; 9.2; 9.6; 9.8; 9.9; 9.10; 9.18; 9.19; 9.20; 9.21; 9.23; 9.24; 9.25; 9.26; 9.27; 10.1; 10.5; 10.6; 10.7; 11.1; 11.4; 12.3; 12.4; 12.7

NASA, Brad Smith (University of Hawaii), Glenn Schneider (University of Arizona): 12.2

NASA, Chandra X-ray Observatory Center, Smithsonian Astrophysical Observatory: 6.19a

NASA and the Hubble Heritage Team (STScI/AURA): 5.9

NASA, Jet Propulsion Laboratory: 9.17

NASA, R. Williams and HDF-N Team (Space Telescope Science Institute): I.4

NASA, Steve Lee (University of Colorado), Jim Bell (Cornell University), Mike Wolff (Space Science Institute): 9:16

National Optical Astronomy Observatories: 1.3; 2.6; 2.18; 4.7b; 4.8; 4.11; 5.11; 5.12; 6.1; 6.2; 6.5; 6.17; 6.20; 6.21; 6.22a

National Radio Astronomy Observatory/AUI, J. O. Burns, E. J. Schrier, and E. D.

Feigelson: 6.11; 6.18; 6.19c

Princeton University Project Stratoscope: 4.9

Dr. Martin Schwartzchild, Princeton University: 4.10

J. William Schopf, Elso S. Barghoorn, Morton D. Masser, and Robert O. Gordon: 12.1

Tass/Sovfoto: 9.7

United States Air Force: 11.10

Tables and illustrations are adapted, redrawn, or used by permission of the following authors and publishers:

Table 1.1: Robert Garrison and Brian Beattie, *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

Table 2.1: *Astronomy: Fundamentals and Frontiers*, 3rd edition, by Robert Jastrow and Malcolm H. Thompson. Copyright © 1972, 1974, 1977 by Robert Jastrow (John Wiley & Sons, New York).

Figure 2.13: Lockheed Missiles and Space Company.

Table 3.1 (adapted); 11.2 (selected): *Astrophysical Quantities*, 3rd edition. Copyright © 1973 by C. W. Allen (Athlone Press, London).

Table 6.2 (adapted): *Realm of the Universe*, by George O. Abell. Copyright © 1964, 1969, 1973, 1980, by Holt, Rinehart and Winston, Inc. Copyright © 1976 by George O. Abell. Used by permission of Holt, Rinehart and Winston, Inc.

Tables 8.2 and 8.3: National Aeronautics and Space Administration public information. Updates by JPL's Solar System Dynamics Group, URL: http//ssd.jpl.nasa.gov/sat_elem.html

Figure 9.14: © 2000 by Tina Cash-Walsh.

Tables 10.2 and 10.3: with permission from *Solar Eclipses: 1996–2020* and *Lunar Eclipses: 1996–2020*, by Fred Espenak, NASA/Goddard Space Flight Center.

Table 11.1: Brian G. Marsden, Smithsonian Astrophysical Observatory.

Appendix 2: Data reprinted from *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

Appendix 5: Alan Batten, *Observer's Handbook 2000*, with permission of the Royal Astronomical Society of Canada.

الفهرس

آتون 154

آثار ألسنة اللهب الشمسية في بيئة الأرض 180

الآثار الملحوظة لحركات الأرض 47

آدمز (جون) 405

آرمسترونغ (نيل) 432، 434، 435

آريسيبو 93، 505

آرييل 344، 404

آرييل ساطع كثير الصدوع 404

الآزوت 215، 216، 298، 459، 493

آسيا 366، 443

آلدريل (إدوين) 435

آلهة الحب 363

آلهة القمر 420

آيغيتو (غرينلاند) 473

آيو (15) 343، 346، 386، 391

آيو / المشتري 415

إپسيلون (النهر) 404، 505

أبولو 154، 420

إيميثيون 343

الاتحاد الفلكي الدولي 363، 466

اتساع الخطوط التصادمي 125

اتساع الخطوط الدوراني 125

أثر الضبابية الجوّية على المَيْز 82

الأثنين القمر 314

الأجرام الجليدية الصغيرة 342

أجرام صخرية غير منتظمة الأشكال 352

أجرام متراصة ضخمة (ماخوصات) 296

أجسام طائرة مجهولة (المنشأ) 486، 503، 511

إجمال طريقة استعمال مخططات (H-R)... 229

أجهزة التبريد والتكييف 374

أجهزة متقدمة لدراسة المذنبات 479

أجهزة المدى الليزري 370

أحادي أكسير الكربون 459

الاحتجاب (occultation) هو استتار جرم سماوي خلف آخر 447

احتراق الفحم والنفط 374

الاحتكاك المدِّي 423

الاحتمالات 494

الأحجار المريخية 475

الأحجار النيزكية (الصخرية) ـ (الحديدية) 432، 453، 474، 476، 481، 483

الأحجار النيزكية القمرية 475

الأحد الشمس 314

الإحداثيات السماوية 30

أحوال السطح 439

أحوال غير مؤاتية لحدوث الخسوف والكسوف 446

اختبار ذاتي 51، 101

اختبارات حدية 292

اختفاء المذنب 462

اختلاف المنظر المثلثي 207

اختلاف المنظر (Parallax) لقياس المسافات... 108

اختلاف المنظر النجمي 108، 109

اختلاف المنظر النجمي يتناقص مع بعد النجم 110

أخناتون 153

أخيراً ستضع الشمس نفسها في مركز الكون 309

أخيراً ظهر الإنسان بذكائه الفكري منذ قرابة (40,000) سنة خلت 492

الأخيلة 77

أدراميتا 343
إدراك حقيقة السماء المرصَّعة بالنجوم 19
أدلة في الشبكة 519
أذرع حلزونية 234
الأذرع اللولبية 235، 245
الأربعاء عطارد 314
أربعة نجوم حارة وباردة 67
أربعة نجوم قريبة 134
ارتبط اختفاء الشمس عند بعض الشعوب... 441
الارتصاص = عملية الارتصاص
ارتفاع الشمس 46
ارتفاع في درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي 198
ارتياد الفضاء 499
أرسطو 444
الأرصاد الفلكية 69
الأرض تدور حول الشمس دورة كل عام 41
الأرض تدور حول نفسها يومياً 422
الأرض تدور (rotate) يومياً حول محورها (axis) 20
الأرض، الطوق الكويكبي 484
الأرض عادت لا تعد مركز الكون بكامله 321
الأرض كروية لا منبسطة 444
الأرض كما رصدها من القمر روّاد مركبة أبولو الفضائية 366
الأرض = كوكب الأرض
الأرض المتصلة 369
الأرض منزلنا ومأوانا وهي كرة صخرية يبلغ قطرها... 14
الأرض مهد البشر، لكن الإنسان... 353
الأرض وزحل كليهما يدوران حول الشمس 393
ارقب القمر يومياً مدة شهر إن استطعت 317
الإريديوم 478
أزواج الكواكب 412
إسبانيا 95
أستراليا 96، 443، 520
استكشاف الفضاء واستغلاله الاستغلال الأمثل 500
استكشاف القمر 432
استكشاف المنظومة الشمسية 309
استكشافات فضائية فلكية عامة 525
استهلال عصر الفضاء 331
الأسد = برج الأسد
الأمر المجري 265
أسطع نجم ليلي 28
أسطع النجوم 27، 33
أسماء أيام الأسبوع 313
أسماء البروج الاثني عشر 23
أسماء النجوم 27
إشعاع الـ 21 سنتيمتراً 244
إشعاع الأمواج الصخرية 308
الإشعاع تحت الأحمر 65، 104
إشعاع الخلفية الكوني 296
الإشعاع السنكروتروني 263
الإشعاع فوق البنفسجي 65، 104
الإشعاع الكهرطيسي 62، 63، 69
الإشعاع الكوني 296
أشعة بيضاء 430
الأشعة تحت الحمراء 61، 97
الأشعة السينية 61، 65، 104، 246
الأشعة السينية وفوق البنفسجية 178
أشعة غاما 61، 65، 104، 178
الأشعة فوق البنفسجية 61
الأشعة فوق البنفسجية والسينية والغامية 100
الاصطفاء الطبيعي 491
اصطناع مقاريب أكبر 86
اصطناع مقراب راديوي وحيد بقطر (8000) كيلومتر (5000) ميل 96
الأصناف السبعة الرئيسية للألياف النجمية 119
الأصناف الطيفية 118
أضحى القمر ـ بعد مليارَيْ سنة من ولادته ـ في حكم الميت... 438
الاضطرابات الجوّية 81
الأطباق الطائرة 503
أطلس 343
أطوار القمر 314، 316
أطوار كوكب الزهرة 322
الأطوال الموجية تحت الحمراء (وفوق البنفسجية) 246، 495

أطول النجوم عمراً 203
الأطياف 112
أطياف النجوم 115، 121
الاعتدال الخريفي 45، 46
الاعتدال الربيعي 30، 45، 46، 49، 52، 54
الاعتدال الربيعي يقع في برج الحوت 50
الاعتدال والمنقلبات 45
الأعجوبة 209
أعظم اللقطات من عقرب هيل الفضائي 525
أعمار النجوم 198
الإغريق 444
أفروديت 364
أفريقيا 364، 443
أفضل العروض الشهابية 471
أفق الحدث 221
الأفق السماوي 34
الأفق كأس فوقنا مقلوبة... 19
أفلاطون 429، 517
إفيلزبيرغ بألمانيا 93
الاقتران السفلي 322
الاقتران العلوي 322
اقتفاء المذنبات 467
الأقدار 28، 129
الأقراص حول النجمية 97
أقرب النجوم إلينا يقع على بعد عدة سنوات ضوئية 499، 514
أقزام (البيض) بيضاء 137، 141، 146، 212
الأقزام الحمر الباردة 140
الأقزام (الحمر) الحمراء 136، 146، 203
أقسام المذنب الرئيسية 457
أقصر النجوم عمراً... 202
الأقمار أجرام تدور حول الكواكب 310
أقمار أورانوس = كوكب أورانوس
أقمار زحل 398
أقمار غاليليو (الأربعة) 390، 391
أقمار الكواكب الأرضية 346
أقمار المشتري 346، 390
أقمار نبتون 407
الأكاليل البركانية 365
أكبر المقاريب البصرية في العالم 88
أكبر مقراب راديوي 93
اكتشاف أول منظومة كوكبية... 497
اكتشاف نبتون 407
اكتشف مذنباً وسيحمل اسمك إلى الأبد 468
اكتشفت بواسطة المركبة ڤوياجر 2 عشرة أقمار صغيرة... 404
أكثر من 700 متغير قيفاوي... 208
الأكسجين 206، 225، 356، 459
أكسيد التيتانيوم 122
الإكليل الشمسي 161
الإكليلي الشامل 177
إلارا 343
الألسنة الشمسية 180
ألسنة اللهب (والشواظ) 176، 184
ألفا قنطورس 505
الألمنيوم 206
أمالثيا (الصغير) 343، 390
أمبرييل 344
أمريكا الجنوبية 416، 443
أمريكا الشمالية 445، 520
أمضى فريق مرْكبة أپولو الأمريكية... 433
إمكان وجود حياة خارج نطاق الأرض 487
الأمواج الراديوية 61، 64، 65، 92، 104، 278
الأمواج الزلزالية الأرضية 183
الأمواج الطويلة 65
الأمواج القصيرة تكون أعلى تردداً 65
الأمواج الكهرطيسية 63، 65، 66، 101، 104
إن لكل شيء أواناً ولكل مرام تحت السماء وقتاً مقدراً... 193
أنانكي 343
انبعث الكون إلى الوجود في حادثة الانفجار العظيم منذ 10 ـ 20 مليار سنة خلت 488
انتشار الضوء 127
انتشار الموجات (الحركة الموجية) 65
الانفتاح الاستوائي للأرض 49
انتفاخات مدّية 392

الانخداع القمري 425
اندثار النجوم 209
الاندفاعات الشمسية العنيفة 169
الاندماج النووي 198، 227، 310، 388
اندماج الهيدروجين 203، 205
اندماج الهليوم 205
انزياح أحمر تثاقلي 269
الانزياح الأحمر الكوني 281
انزياح أزرق 123
انزياح (الانزياحات الحمراء) أحمر 123، 281
انزياح (انزياحات) ووپلر 122، 123، 183، 268
الانزياحات الحمراء والسرعات المقابلة لها... 283
إنسان في القمر 423، 429
إنسيلادوس 344، 398
انظر إلى النجوم! أرجع البصر في السماء... 107
انعراج الضوء 82
الانعراج (نموذج الانعراج) 78، 79
أنغستروم (آندرز) 59
الأنغلو ـ سكسونيون 313
الانفجار العظيم = نظرية الانفجار العظيم
انفجار عملاق غامض 477
الانقطاع الشمسي 181، 503
انقراض الديناصورات منذ (65) مليون سنة 478، 491
انقراض كامل لبعض الأنماط الحية 491
الانكماش العظيم 289
انكماش المادة من جديد 291
الأنماط الثلاثة للمجرات 259
إننا لسنا وحيدين 486
إننا نسعى إلى تجاوز زماننا نعيش زمانكم... 485
أنواع الأطياف 111
أنواع الطيف الثلاثة الأساسية 112
الأهداف 57
الإهليليجية 278
أهم وابلات الشهب السنوية 472
أهمية المذنبات 455
أوبيرون 344، 404
أوجه التشابه والتغاير بين القمر والأرض... 419
أورانوس = كوكب أورانوس
أورانوس (uranus) أول كوكب جرى تعرفه بوساطة مقراب 400
أورت (جان) 462
أوروبا 182، 343، 386، 390، 392، 397، 493، 520
أوزما = مشروع أوزما
الأوزون 374
أوفيليا 344
أوقات الخسوف والكسوف 446
أول أكسيد الكربون 246
أول إنسان في الفضاء يوري غاغارين 511
أول رسالة من الأرض 503
أول صورة لمنظومتنا الشمسية كما بدت من الخارج 506
أول قمر صناعي أُطْلِق... 331
أوميغا 295
أيابيتوس 344، 398
أيام الأسبوع 314
أيام وسنوات 337
إيراتو سشينيز 444
أينشتاين (ألبرت) 13، 201، 221، 296
أيون 114
الأيونات الجوية 179
أيونات الهيدروجين 461

باده (وولتر) 247
باراغولد (آركنسو) 473
بارنارد 343
البازلت 429
پاسادينما بكاليفورنيا 96
پايكو / ڤوياجر (1) 344
باسيغي 343
باطن الشمس 162
باطن القمر 438
پالومار 89
البالون المنتفخ يمثل نموذجاً منطقياً لمفهوم الكون المتوسع 287
بان 343
بانجيا 369

باندورا 343، 399
البحار 428، 429
بحار الأرض 489
بحار القمر 354
بحث دؤوب 506
بحث عن الحياة على سطح كوكب آخر 511
البحث الموجَّه 507
البحر المتوسط 15
البحر المحيط 58
بحر الوابلات 429
بخار الماء 97
البدايات الكونية 487
البدر 315، 351، 420
بدر الحصاد 425
بدران في شهر واحد 315
البراكين البازلتية 364
براهة (تيخو) 323، 348
برج الأسد 22، 23، 26، 27
برج التنين 24
برج الجبار 26، 67
برج الحوت 50
برج الدب الأكبر 24
برج العذراء 27
برج العَوّاء 27
البروتونات 113
بروتيوس 345، 408
بروج 22
البروج الاثني عشر 22
البروج الثمانية والثمانون 22
البروج حول القطبين 24
البروج حول ـ القطبية الثلاثة 24
البروج الكوكبات 21
بروميثيون 343
البصريات الفاعلة أو النشطة 90
البصريات المطويّة 86
البصريات المعدلة 90
بطليموس 309، 319، 348
البعد الرابع 287
البعد الزاوي 30
بعد الشمس وحجمها 156
بعد النجم (بالفراسخ الفلكي) 109
بعض المذنبات الدورية 465
بعض النجوم أشد حرارة من بعضها... 67
بقاء الأصلح 490
البُقَعُ الشمسية (الكَلَف) 171
البقع النجمية 183
البقعة الإهليليجية البيضاء العظيمة 396
البقعة الحمراء الكبرى 389، 412
البقعة القاتمة الكبرى 406
بك 344
البكتريا 490
بكتريا مستحاثية عمرها عدة مليارات السنين 491
بِلْ (جوسلين) 219
بلوتو 310، 312، 332، 336، 337، 345، 350، 410، 411، 481، 484
بلوتو (Pluto) أبعد الكواكب المعروفة عن الشمس 409
بلوتوليس نجماً 410
بينزياس (آرنو) 297
بنية الأرض (بطبقاتها الثلاث الرئيسية) 367، 369
بنية الشمس 160
بنية القمر 438
البنية اللولبية النظامية 246
بنية مجرة درب التبانة 249
بنية المذنب 456
بنية نجم ذي لب داخلي يتزايد فيه الكربون باطراد 210
بنية نجم عملاق أحمر 206
بواكير البحث عن الحياة على كواكب أخرى 510
بواكير المعطيات المقرابية 321
بور (نيلس) 113
بورتوريكو 93
بورشيا 344، 404
البؤرة الأولى 74
بولاريس 50
بولياكوف (ڤاليري) 501
بوند، لاسيل 344

بيازي (غيوسيبي) 339
بيانكا 344
بيرين 343
بيكر (إيلين س.) 500
بيكيرينغ 344
بيلندا 344
بيونير (10) (مركبة فضائية) 502، 511
بيونير (11) سنة 502

التأرجح 423
تاريخ القمر 436
تاريخ الكون (نموذج الانفجار العظيم المتمدد انفجارياً) 300
تاوقيطس 505
التأين 122
تبدو النجوم القريبة... 108
تبرد القمر منذ زهاء ثلاثة مليارات سنة... 437
تبعد الشمس عن مركز المجرة... 233
تبلغ سرعة الشمس قرابة (250) كيلومتراً في الثانية 185
تبلغ كتلة الأرض زهاء... 366
تبلغ كتلة القمر 426
تبلغ كثافة (density) الشمس الوسطية... 141
تتأثر الأيونات والجسيمات المشحونة... 460
تتألف الثنائية النجمية من نجمين A وB... 142
تتألف منظومتنا الشمسية من... 310
تتألف نواة المذنب... 479، 482
تتحرك النجوم بسرعة فضائية 122
تتعرّض الأرض لصدم نواة مذنب 478
تتغير مواقع الشمس والقمر... 32
تتفاوت الأطوال الموجية من... 63
تتفاوت المقاريب العاكسة... 75
تتكون الذؤابة باقتراب المذنب من الشمس 466
تتكون الذيول قريباً من الشمس 482
تتكون النجوم من... 195
تَتِلْ 472
تتميز الأمواج الضوئية بأطوالها 59
تجارب النيوترينوات الشمسية 182
تجربة تخيلية تظهر لماذا تضيء النجوم 201
تجري الشمس عبر فضاء الكون بسرعة كبيرة 184
التحبب 170
تحت الحمراء 69
تحدث أعتى الرياح... 396
تحدث وابلات الشهب عندما تعبر الأرض... 483
تحديد الزمن الفلكي 49
تحديد المواقع على الأرض 29
تحديد المواقع على الكرة السماوية 32
تحقق صحة النظريات 237
تخافت النجوم حول القمر البهي... 419
تخليق العناصر الثقيلة 205
التداخل 82
التداخل الراديوي 106
تدور الكرة السماوية حول القطبين السماويين 41
تراجع العقدتين 446
تراقب دورة البقع الشمسية بدقة... 190
التراكم المتزايد لثنائي أكسيد الكربون 374
ترامي (انحسار) المجرات 282
ترايتون أكبر أقمار نبتون 407
ترايتون / نبتون 407، 415
التربيع الأول 351
ترتيب الألوان... 61
ترتيب مدارات الكواكب حول الشمس 313
التردد 62
التردد (F) 66
التردد الموجي 64
تُرْسَل المركبات الفضائية الربوطية... 331
تركيب الأحجار النيزكية 474، 481
تركيب الشمس 159
التركيب الكيميائي 117
تركيب الهواء 375
تركيزات كتلية مغمورة في البحار الدائرية 438
الترفع في حركة نجم مرئي 498
تريتون 345
تزايد الإشعاع الخطر 190
تزايد ضيائية القيفاويات... 208
تسامت كوكبي 333

تساؤلات تتعلق بالانفجار العظيم 298
تساؤلات لا تنتهي 280
تستجيب العين البشرية للأمواج... 59، 64
التسطح 298
تسكب الشمس ضياءها على الأرض من زوايا مختلفة... 44
تسلسل الأصناف الطيفية 119
التسلسل الرئيسي 136، 146، 207
تسيولكوفسكي (كونستانتين) 353
تُشَبِّهُ البقع الشمسية بمغانط هائلة 175
التشويش 82
تشيلي 82
تصادم الذرات في النجوم 125
تصادم كارثي مدمّر 341
تصل درجات الحرارة السطحية 755 كلفن... 361
تصميم المقاريب والاختيار منها 85
تصنف الكويكبات في ثلاثة أنواع... 341
تصنيف المجرات 253
تصنيف هبل للمجرات تبعاً لأشكالها 254
تصور الشمس بالمرشحات اللونية 166
تصوير إكليل الشمس فوتوغرافياً 168
تضيء البقع الشمسية بدرجة... 172
تطلق النجوم طاقة تقارب... 67
التطور 490
تطور كائنات حية من جزيئات لا حية 490
التطور المجري 257
التطور النجمي 193، 194
تطوف الكواكب 317
تطوف (revolve) الكواكب جميعها حول الشمس (في اتجاه واحد...) 312، 351
تطوف منظومة الأرض ـ القمر حول الشمس كل سنة 422
تعاقب الفصول 44
التعايش السلمي 508
التعريض الزمني 72
تعريف الثابت الشمسي 153
تعريف علم الكون 279
تعريف المجرّة 229
تعطيل منظومات الاتصال الراديوي 180
تعطيل منظومات الطاقة الكهربائية 180
التعليمات (الشفرات) الوراثية 489
تغطي كامل سطح القمر تربة ذرورية ناعمة... 432
التغير الزاوي 124
تفاعلات الاندماج النووي (في اللب) 201، 227
التفاعلات النووية 215
تفكيك طيف نجم 126
تقاويم وأدلة رصد وكتب مصورات نجمية 521
تقدير عمر الكون وحدوده 280
تقع الشمس وكواكبها داخل مجرة درب التبانة 184
التقلص التثاقلي 203، 205
التقلص التثاقلي ضمن سحابة غاز وغبار 198، 227
التكاثر الجنسي 491
التكبير المجدي الأعظمي 81
تكساس 22
تكسون بولاية أريزونا الأمريكية 70
تكون الشمس في فاعليةٍ عظمى في... 174
تكوّن فوّهة صدم نموذجية 430
تكوّن الكواكب 197
تكونت مجرتنا في ما يبدو منذ (10 ـ 20) مليار سنة خلت 248
تكونت المنظومة الشمسية... 311
تلاشي الغابات المطريّة 374
تِمْپِل ـ تَتِلْ 472
تمتد الكرة المغنطيسية 372
تمثيل للمبادرة 50
تمدد المكان ـ الزمان 281
التمدد المنظور 289
تنتشر في جميع أنحاء الكوكب أجراف 355
تنتمي شمسنا وكل النجوم... 230
تنجم الحركة الظاهرية السنوية للشمس... 43
التنجيم 50
تنعكس قطبية (Polarity) الحقل المغنطيسي للشمس كل 11 سنة تقريباً 175
التنوع التطوري 491
توابع المنظومة الشمسية 343
التوازن الهيدروستاتي (السكوني السائلي) 197

التواصل 504
توافق الدين والعلم 323
التوسع الخارجي 288
التوسع اللانهائي 289
تؤكد أرصاد حديثة لاحتجاب نجمي... 409
تومباو (كلايد) 409
تيارات الحمل... 370
تيتان (Titan) (أكبر أقمار) زحل 398، 399، 415
تيتان = القمر تيتان
تيتانيا 344، 403، 404
تيثيس 344، 398
تيخو براهه 309
تيريسكوڤا (ڤالنتينا) 499
تيريل / ڤوياجر (1) 343، 345
تيريل ڤوياجر (2) 344
تيليشو 344

الثابت الشمسي 154، 188، 190، 191
الثابت الكوني 296
ثابت هبل (4) 279، 285، 302، 307
ثابت هبل المتقلب 294
ثالاسا 345
ثبات الحاضن (mount) 85
ثخانة الانتفاخ النووي المركزي 233
الثديبات الصغيرة 491
الثعبان 50، 134، 135
الثقالة الصغرية 500
الثقالة القوية لكوكب المشتري 464
ثقب أسود كما تصوّره فنان 222
ثقب أسود محتمل 228
الثقب الأسود المركزي الافتراضي 263
الثقب (الثقوب الإكليلية) الإكليلي 181، 188
الثقب (الثقوب السوداء) الأسود 221، 223، 226، 278
الثقب المائي المجري 507
الثلاثاء المريخ 314
الثلج 458
ثنائي أكسيد الكربون 97، 373، 459
الثنائي (الثنائية الطيفية) الطيفي 143، 148
الثنائي المرئي 148
الثنائية الكسوفة 143
الثنائية النجمية 141
الثواني القوسية 109
الثواني الكبيسة 338
الثور 23
ثيبي 343، 390

جار الجنب 420
جاكسونڤيل 52
جامعة نيومكسيكو 473
جانسكي (كارل) 92
جانوس 343
الجبار = برج الجبار
جبال الأرض 436
جبال الألب 435
جبال القمر 434، 436
جبل أولمبوس 381
جبل باستاخوف 89
جبل پالومار، كاليفورنيا 89
جبل ماكسويل مونت 364
الجدول الزمني لمشروع ڤوياجر 333
الجدي 23
جذب الثقالة الداخلي 288
الجرم الصحيح 480
جزر پيرجين آيلاندز 96
جزيرة ڤِن 323
جزيئات الحمض الريبي النووي 489
جزيئات لا حية 485
جسم أسود 67، 68
جسيمات كبيرة ضعيفة التآثر (ومبات) 296
جل أنواع النجوم لها أكاليل متشابهة 183
جلاء الصورة (الرؤية) 81
الجمد الدائم 382
الجمعة الزهرة 314
جمهرتا النجوم 247
جنوب الأطلسي 443
جنوب أفريقيا 443

جنوب غرب أفريقيا 473
جنوب المحيط الهادئ 443
جو سديمي 172
جو المشتري 390
جوانب نجاح نموذج الانفجار العظيم 297
جوپيتر 386
جورج الثالث 400
الجوزاء 140
الجوزاء التوأمان 23
جولييت 344
جونسون (صموئيل) 57
جويت دانييلسون 343
الجيروسكوبات 98

حادثة صدم بنواة مذنب... 476
الحامض النووي 475
حب الاستطلاع... 57
الحبيبات 170
الحبيبات الشمسية 170
الحبيبات الفائقة 171
الحجر النيزكي 473، 480
الحجر النيزكي أليندي 475
حجر هوباويست 473
حجم القمر 426
الحجوم النسبية للكواكب 311
حد سرعة الكون 64
حدوث الأحجار النيزكية بأنواعها 476
حدوث الانفجار العظيم 291
حدود الكون 302
حذار أن تنظر إلى الشمس بصورة مباشرة 157
الحرارة السطحية (للقمر) 432
حرارة النجم السطحية (كلفن) 146
الحركات 122
الحركات في الفضاء 184
حركة الأرض... 49
الحركة التراجعية 317
الحركة الحقيقية 122، 124
الحركة الحقيقية لمجموعة الدب الأكبر النجمية... 124
الحركة الحقيقية لنجم الشعرى اليمانية 145
الحركة الخلفية الظاهرية 317
الحركة الطرديّة 312
الحركة الظاهرية لكوكب المريخ 321
الحركة الظاهرية اليومية للشمس 47
الحركة الظاهرية السنوية للشمس 43
الحركة الظاهرية السنوية للنجوم 41
حركة القمر المدارية 327
الحركة الكوكبية 324، 327، 349
الحركة الموجية 123
الحركة والثقالة 326
الحركة اليومية الظاهرية للنجوم 37
حزام كويپر 342
حُزُم ڤان آلن 373
حساب المسافات من الأقدار 133
الحساسية النسبية للعين البشرية... 60
الحشد 3 Mهرم نسبياً 239
حشد الثريا المفتوح 239
الحشد (الحشود الكُرَيِّيَّة) الكريي 235، 237، 239، 256
حشد العذراء 261
حشد العذراء الذي يضم آلاف المجرات 260
الحشد الفائق 261
الحشد الفائق الموضعي 261
حشد مفتوح 277
الحشد النجمي المسمى 47 طوقان 236
الحشد النجمي المفتوح المسمى بالثريا في كوكبة الثور 235
الحشود غير المنتظمة 261
حشود المجرات 260
الحشود المجرية المفتوحة 237
الحشود المنتظمة 261
حشود تجمية 133، 234
الحشود النجمية المفتوحة والكريّية 237
حَضَار 54، 134، 135
الحضارات الذكية في مجرّة درب التبانة 494
حضيض الكَلَف 174
الحضيضة 113
الحقبة الثالثة 478

الحقبة الطباشيرية 478
حقل ثنائي القطب 390
الحقل المغنطيسي 125، 145، 175، 176، 390، 401
الحقل المغنطيسي للأرض 372
الحقل المغنطيسي لنبتون 406
الحلقات 412
حلقات زحل 395، 397
الحلقات (A,B,C) 393
الحلقتان (E,D) 395
الحلقة (F0 399
الحلقة (G) 395
حلقة تطيف بالأرض 425
الحلقة حول القمر 425
حلقة عنكبوتية واهية 388
الحلقة المطيفة بالقمر 424
الحمض الريبي النووي المنقوص الأكسجين 489
الحمل 23
حملة دولية لرصد مذنب هالي 455
الحموض الأمينية 475
حوادث تصادم بالأرض 476
حوادث الخسوف الكلي 445
حوادث سقوط صخري (الأحجار النيزكية) 473
حوادث الصدم 434
حوادث الكسوف الكلي 443
الحوت 23
حوض كالوريس 354
حوض مجموعة الدب الأكبر 37
حياتنا في كون متوسع 291
الحياة الأرضية 485
الحياة الذكية 485
حياة ذكية خارج (كوكبنا) الأرضـ(ي) 486، 510
الحياة على الأرض ظاهرة كونية فريدة 486
الحياة على كوكب المريخ 485
الحياة قد وُجدت في كوكب المريخ من... 493
الحياة المهنية 521

خاصية الاستقلاب (الأبيض) 488
الخرائط النجمية 14، 50
الخرج الإجمالي لطاقة الشمس هائل حقاً 154
خريطة راديوية تظهر البنية اللولبية لمجرتنا 245
خريطة راديوية كفافية 264
خريطة القمر 14
خريطة الأرض كما قد تبدو منذ نحو 200 مليون سنة 371
خريطة مسطحة للسماء 45
الخسوف القمري 442، 444، 445، 446
خصائص الشمس 165
خصائص القمر 427
خصائص الكواكب 334
الخصائص المجرية 256
خط الاستواء (السماوي) 29، 30، 40، 46، 51
خط الزوال السماوي 34، 35
خط (خطوط) الطول 29، 51
خط (خطوط) العرض 29، 51
الخط الطيفي المتسع 125
خط العرض (23,5) شمالاً 46
خط العرض (40°) شمالاً 21، 24، 37
الخط الفاصل 430
خطوط الامتصاص (K3H) للكالسيوم المتأين 282
الخطوط الساحلية (القارية) 372، 416
الخطوط الساحلية لأمريكا الجنوبية وغرب أفريقيا 370
الخطوط الطيفية (لنجم) 113، 123، 125
خطوط العرض المتوسطة 46
خطوط فراونهوفر 117
خطوط المرجع الموضعية لراصد 34
خطوط من الهليوم المتأيّن 121
خطوط الهيدروجين 118
خلايا حمل 171
الخميس المشتري 314
الخواء 63، 66
خيال الشمس بإسقاطه على شاشة... 157

دايانا 420
دائرة البروج 42، 52
دائرة الطول الأساسية 29
دائرة الطول السماوية 34

دايوني 344، 398
الدب الأصغر 24
الدجاجة = كوكبة الدجاجة 223
الدحروج 319
دراسة أطياف مئات النجوم القريبة 497
دراسة الشمس 186
درابر (يوهان) 250
درب التبانة 15، 184، 208، 261، 264، 286
درجات الحرارة في لب الكوكب (30,000) كلڤن 389
درجة حرارة النجم 120
دريپر (هنري) 116
دريك (فرانك) 494، 505
دلتا قيفادس 207
الدلو 23
دليل سنوي للشركات 520
الدليل العام الجديد (NGC) 251
الدليل العلمي 489
الدليل الفهرست 250
الدليل الفهرست الثاني 250
دليل النوادي الفلكية 520
دليل هيپاركوس النجمي 110
دنفر بولاية كولورادو الأميركية 37
دوائر بطليموس 319
دوائر الزوال 29
دوپلر (كريستيان) 122
الدور المحوري 163
الدور المحوري الاقتراني 338
الدور المحوري النجمي 338
دور مداري 337
الدور المداري الاقتراني لكوكب 338
دور مداري نجمي أو فلكي 338
دورات الفعالية الشمسية 173
دوران الأرض حول الشمس 54
دوران الأرض حول نفسها 47
دوران الشمس 163
دوران القمر 423
الدوران المتزامن 423، 451
الدوران المتزامن للقمر... 424
الدوران المحوري 125، 145
دوران منظومة الأرض... 423
دورة حياة النجوم 194
دورة حياة نجوم كالشمس 213
دورة الفعالية الشمسية 174
دورة الكلَف الشمسي 173
دولفوس 343
ديدمونة 344
ديسپينا 345
ديموس (الفزع) 343، 375، 385
الديناصورات 478، 491
الديوتريوم 287، 288

الذبذبات الشمسية 183
الذرة 113، 114
ذرة الهيدروجين 460
ذروة الكلَف 174
الذنب 324
ذنب الدجاجة = نجم ذنب الدجاجة
ذو الشعر الطويل 456
الذؤابة 456، 466، 483
ذؤابة المذنب 459
الذيل 483
الذيل الغازي 461
الذيل الغباري 460، 461
الذيل المغنطيسي 372
ذيل مغنطيسي أسطواني 401
الذيول 456، 460، 466

الراديوية 69
راديوية قصيرة 297
رأس الغول 143
رأس الفرس 278
راسل (هنري) 135
راسم الإكليل الشمسي 168، 186
راسم الطيف 91، 92، 102
راسم المغنطيسية 175
رايتسيما / ڤوياجر 345

رباعيات عمر الخيام 19
الربوت الأمريكي 100
رِجْل الجبّار 137، 202
رجم أو حجر نيزكي 473
رحلات أبولو القمرية (الأمريكية) 420، 436
الرحلات البينجمية 486، 499
رحلات غليڤر 385
الرحلات (الفضاء) الفضائية 331، 332
الرحلات الفضائية الأمريكية المأهولة... 498
الرحلة القمرية الأمريكية كليمانتين 439
الرحلة القمرية التاريخية للمركبة أبولو (11) 435
رداءة الرؤية 82
رسم تخطيطي للشمس 187
رسم تخطيطي لمقراب كيك Keck في هاواي 87
رسم تمثيلي للكسوف الجزئي 441
رسم تمثيلي لمقراب كاسيفرين العاكس 76
رسم تمثيلي لموجة ضوء 59
رسم لمقراب نيوتن العاكس 75
رصد تردد النبضات الراديوية... 497
رصد الحركة الحقيقية للنجم المرئي المرصود 496
رصد السرعة الشعاعية للنجم المرئي الموصود 497
رصد الشمس 166
الرصد غير المباشر 514
رصد القمر 428
رصد الكواكب 317
الرصد المباشر 514
رصد مواقع متعاقبة لكوكب المريخ... 318
رصد نباض الميلي ثانية... 497
رصدت مركبة ڤوياجر أربع حلقات تطوق نپتون 406
رصدك للشمس مباشرة... 157
الرصف 330
رواد الفضاء الروس 501
روّاد الفضاء الروس أوّل من غزا الفضاء من البشر 499
روّاد مركبة أبولو (الفضائية) 425، 433، 437، 499
روزاليند 344، 404
روسيا 182، 443، 499
رؤوس المثلث الصيفي 27

رؤية راديوية 92
رِيا 44، 398
الريح (الرياح) النجمية 210، 242
الريح الشمسية 181، 460، 461

زحل 312، 313، 317، 333، 335، 343، 344، 350، 393، 397، 412، 414، 415
زحل أبعد الكواكب الساطعة 393
الزمن الفلكي هو (6) ساعات و(54,1) دقيقة 49
زمن هبل 301، 302
الزهرة = كوكب الزهرة
الزهرة أكثر الكواكب شبهاً بالأرض... 365
الزهرة: رصده 357
الزهرة سيعبر بتاريخ 8 حزيران (يونيو) سنة (2004)... 359
الزهرة كما يرى بواسطة (أ) مقراب أرضي 360
الزهرة كوكباً غير صالح لارتياده 412
الزهرة نجم الصباح في السماء الشرقية قُبَيْل بزوغ الشمس 358
الزهرة يدور من الشرق إلى الغرب 358
الزواحف 491
الزئبق 338
الزيغ الكروي 84
الزيغ اللوني 84
الزيغ المقرابي 84

الساتل 331
ساتل حساب اختلاف المنظر العالي الدقة 110
الساتل الرّبوطي الأمريكي 169، 177، 299
ساتورن آلهة الزراعة عند الرومان 393
ساعة الصفر (oh) من المطلع المستقيم 45
ساغان (كارل) 494
سافو 419
ساكرامنتو 52
سانت كروا 96
سايفرت (كارل) 266
السبت زحل 314
سَبْر باطن الشمس 182

سبوتنيك 331
ستة أقمار صغيرة دكناء اكتشفتها مركبة ڤوياجر الثانية 408
ستيكني 385
السجل المستحاثي للـ (600) مليون سنة الماضية... 491
سحابة أورت 463، 481، 484
السحابة الجزيئية (سديم الامتصاص القاتم) 243
سحابة دوّارة 197
سحابة ماجلان الصغرى 251
سحابة ماجلان الكبرى 216، 251
سحابة هائلة من المذنبات قرب حافة المنظومة الشمسية 464
السحابة الهيدروجينية 456، 460، 483
السحب البينجمية 195
سحب جوي ناشئ عن إكليل هيدروجيني 402
سحب عظيمة 243
سحب الغبار البينجمي 486
سديم الإصدار الساطع = منطقة H 11
سديم الامتصاص القاتم = السحابة الجزيئية
سديم الجبار (في كوكبة الجبّار) 195، 196، 243
السديم الحلقي المعروف في كوكبة الشلياق 211
سديم حول القطب الجنوبي المضاء بالشمس 401
سديم رأس الحصان 243، 244
سديم السرطان (في كوكبة الثور) 218، 220
السديم الشمسي 159
سديم قاتم 278
السديم الكوكبي 210، 211، 214
السرطان 23
السرعة (2) 66
السرعة الشعاعية 122
سرعة الضوء 63
سطح أمبرييل 404
سطح أوبيرون 404
سطح الزهرة 361
سطح القمر (الجاف المستقر) 437، 439
سطح متأجّج 170
سطح المريخ 378، 380
السطوح الكروية 84
السطوع 28
السطوع الظاهري لنجم 126
سفر التكوين 279
سفينة الفضاء ڤوياجر 181
سكاكر الكاراميل 368
سكاي لاب (الأمريكية) 161، 169، 179
سُلّم الأقدار الحديث 129
السماء كما تبدو من خط العرض 39
السماك الرامح 54
السمت 34
سمت الرأس 36
سمي كوكب الزهرة (Venus) الساطع نسبة إلى... 357
سمي الكوكب المشتري (Jupiter) نسبة إلى جوپيتر 386
سميث / ڤوياجر (1) 344
السنبلة 146، 150
سهوب التندرا 369
سهول الذهب 379
سهول الطوبي 379
السهول المسورة ذات الجدر 429
سُهَيْل 39، 40، 53، 54، 55
سوجرنر 379
سوف تغادر الشمس التسلسل الرئيسي عند... 227
سول 154
سويفت ـ تَتِلْ 472
سويفت (جوناثان) 385
سيبيريا 477
سيرو تولولو إنتر أمريكان 89
سيرو تولولو، تشيلي 89
سيريز 339
السيزيوم 338
سيف الجبار 196
سيكوراكس 345
السيليكات 436، 459
سيليني 420
سينثيا 420
سينوپي 343

سينوت / ڤوياجر 345
سينوت / ڤوياجر (1) 343
سينوت / ڤوياجر (2) 344

شبكة أعماق الفضاء (DSN) 95، 507
شبكة متسامتة لمخطط السرعة مقابل البعد 284
شبكة محزوز 91
شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك 478
الشد التثاقلي للكواكب الكبيرة 496، 497
شرام (ديڤيد) 301
شعاع شڤارتز شيلد 221، 222
شعاع هبل 302، 303
الشعرى الشامية (الغميصاء) 146، 150
الشعرى اليمانية 28، 54، 67، 132، 146، 150
الشفق القطبي الجنوبي 179
الشفق القطبي الشمالي 179
شكسبير (وليام) 229، 453
شكلوفسكي 494
الشلياق 67، 133
شمال شرق كندا 372
شمال الصين 470
شمال المكسيك 475
الشمس 14، 117، 131، 138، 140، 153
الشمس أبعد عن الأرض من القمر (400) مرة 157
الشمس أقرب النجوم إلى الأرض 154
الشمس البدائية 311
الشمس دائبة الدوران حول محورها في الفضاء 163
الشمس العملاقة الحمراء 205
الشمس كرة غازية لا كتلة صلبة مصمتة كالأرض 164
الشمس كرة غازية هائلة 156
الشمس مألوفة لنا أكثر من سائر النجوم 127
الشمس مصدر لا يكاد ينضب للطاقة الحالية والمستقبلية الكامنة 156
الشمس مصدر مجاني مرسل... 189
الشمس نجم متوسط الحجم 202
الشمس هو النجم الوحيد القريب منا 156
الشمس والأرض 154
الشمس والقمر والكواكب تتحرك على دوائر صغيرة 319
الشمس وكواكبها قد تكوّنت معاً... 159
شمسنا دينامية ومتأجِّجة 155
شمسنا ليست إلاّ واحداً من (200) مليار نجم في مجرتنا درب التبانة 494
شمسنا هي النجم الوحيد الذي يقع على مقربة... 140
الشمعة العيارية 256
الشهاب 470، 480
الشهاب الوهاج 470
الشهب 453، 468، 471
شهب الأسد 472
شهب الثور 472
شهب الجبار 472
شهب الجوزاء 472
شهب سعر الأخبية 472
الشهب الشلياقية 472
شهب العوّاء 472
شهب فرساوس 472
شهر أطوار القمر 330
الشهر الاقتراني 316، 330
الشواظ الشمسي 177
شوولتر / ڤوياجر (2) 343
شياباريلي (جوفاني) 377
شيخوخة النجوم 202
شيرون 342

الصخور الأرضية 490
الصخور القمرية 436
صدم عنيف 382
الصدمة القوسية 461
صفات مشتركة 183
الصفات المميزة للأصناف الطيفية 120
الصفائف الشمسية الكهرباء 98
صفيفة الخط القاعدي الطويل جداً (VLBA) 96، 103
الصفيفة الضخمة جداً (VLA) 94، 95
الصنف الطيفي 146
الصواريخ تُطلِق أقماراً صُنعية في... 331
الصوديوم 356
صور فلكية مثيرة 524

صور فوتوغرافية جديدة للنجوم 524
صور للمريخ 378
صور متاحة للعموم من برامج استكشاف المنظومة الشمسية 525
صور من مقاريب (Kitt Peak) 525
صورة راديوية في اتجاه مركز مجرة درب التبانة 247
صورة للسان لهب شمسي 177
صورة للشمس 168
صورة للمريخ من مركبة ڤايكنغ الطوافة 383
صورة للمشتري بالضوء المرئي 38,
الصياخد 171
الصياد الجبار 22
الصين 172، 443

ضبط الزمن 338
ضحايا الذّرى الشمسية 179
ضغط الإشعاع 460، 461
ضغط جوّي 375
ضغط الغاز نحو الخارج يوازن الثقالة عند كل مستوى في النجم 197
الضوء المرئي 59، 69، 104
للضوء المرئي أطوال موجية... 61
الضوء والمقاريب 57
الضيائية 126، 257
ضيائية الشمس (LO) 127، 154
الضيائية المطلقة (الشمس = 1) 146

الطاقة تحت الحمراء 197
الطاقة الدنيا 101
الطاقة الشمسية 182
الطاقة العليا 101
الطاقة الكلية (E) 68
الطالع 23
طائرة على ارتفاع شاهق 165
طبقة الأوزون 374
الطحالب 490
طرح تساؤلات وقضايا حول القمر لم تحسم بعد 420
الطريق اللبنية 230
طريقة رسم قطع ناقص 326
طلاب علم الفلك 118
طلائع الكائنات الحية على الأرض قد... 509
طور القمر 314
الطوق الكويكبي 339، 481، 483
الطول البؤري للجسمية 74
طول الموجة 59، 62، 66
طول الموجة، مقيساً بين ذروتين أو بين قرارين 60
الطول (الموجي) الموجة (بالأنغستروم) 60، 68
الطول الموجي والتردّد 65
طيف الإصدار 107، 112
طيف الامتصاص 107، 113، 116
طيف الخطوط الساطعة 112
طيف الخطوط القاتمة 113
طيف الشمس 117، 118
الطيف الكهرطيسي 61، 63، 65
الطيف المستمر 107، 112، 116

الظل 172
الظِّلُّ والظليل في بقعة شمسية 173
الظُّلَيْل 172
ظهر الدب 37
ظهر المستعر الفائق (A 1987) 216
ظواهر خاصة (للقمر) 424
ظواهر شمسية 187
ظواهر الشواظ 184

عاصفة جورية عملاقة 389
العاكسة 71
العالم السفلي 409
عالم المريخ 382
عجلة هوائية لولبية 232
العدد البؤري (F number) (أو عدد F) 77
العدسة التثاقلية 269، 270
عدسة تسديد 91
العدسة الجسمية 73، 74
العدسة العينية 71، 73، 74، 105
العدسة اللالونية 84

عدم وجود صخور في قاع المحيط الأطلسي 417
العذراء (السنبلة) 23
عرف حتى اليوم (16) قمراً... 390
عشتار 364
عطارد = كوكب عطارد
عطارد Mercury أقرب الكواكب إلى الشمس 354
عطارد سيعبر بتاريخ 7 أيار (مايو) سنة (2003)... 359
عطارد شبيهاً بقمرنا 354
عطارد والزهرة والأرض والمريخ تشترك بخصائص فيزيائية ومدارية متماثلة 337
عطارد يعبر transit الشمس 358
العقدتان 446
العقدة التراجعية 317
العقرب 23، 67
العقيدة الكربونية 475
علاقة خطوط العرض بالرصد 35
علاقة الدور بالضيائية 208
علاقة السرعة بالمسافة 283، 285
علاقة الكتلة بالضيائية 138
علاقة المذنبات بوابلات الشهب 481
عِلْم الأحياء الفلكية 487
علم الأطياف 112
علم التنجيم 50
علم الزلازل الشمسية 183
علم الزلازل الفلكية 183
علم الفلك 5
علم الفلك تحت الأحمر 97
علم الفلك الراديوي 92
علم الفلك فوق البنفسجي والسيني والغامي 98
علم الفلك الكوكبي 333
علم الفلك واستكشاف الفضاء على شبكة الإنترنت 524
علم الفلك يبعث النفس على النظر إلى الأعلى... 517
علم الكواكب المقارن 336
علم الكون (أو) الكوزمولوجيا 280، 307
العمالقة الزرق ـ البيض 140
العمالقة (زرقاء) الزرق 146، 203
العمالقة (عملاق أحمر) الحمر 146، 203، 206، 207، 214، 228
عمر الخيام 19
عُمر الكون 301
العمر الوسطي لحضارة ذكية 494، 514
عملية الارتصاص 215
عملية التخليق الضوئي 373
عملية التخليق النووي 488
عملية توحيد الفتحة 94
عندما تنظر إلى النجوم تخيل نفسك داخل الكرة السماوية تنظر نحو الخارج 20
عندما وجّه غاليليو مقرابه أوّل مرةٍ نحو القمر... 428
عندما يموت الفقراء المعدمون... 453
عنصر الحديد في الشمس 117
عنصر القرن الشحني 90
العنكبوتيات التي ينفرد بها كوكب الزهرة 362
العواصف الجوية 190
عواصف غبارية 377
العواصف المغنطيسية 179، 190
عين ثور عملاقة 400
عين الذيل الغازي (الأيوبي) 461
العينية = العدسة العينية
العيّوق 39، 40

غابوشكين (سيسيليا پين) 119
الغاز البارد 97
الغاز البينجمي البارد 92
غاز الميتان 409
غاز الهيدروجين 272، 278
غاسپرا 340
غاغارين (يوري) 499، 502، 511
غالاتيا 345
غاليليه (غاليليو) 73، 172، 309، 321، 322، 323، 340، 343، 348، 387، 390، 428
غاليه (يوهان) 406
غانيميد 343، 346، 386، 391، 392
غانيميد أكبر قمر معروف في المنظومة الشمسية 392
غانيميد / المشتري 415
الغبار البينجمي المرئي 15، 98، 242، 243، 257
الغبار والغاز البيكوكبي 310

غرب إفريقية 416
غرين بانك غرب ڤيرجينيا 505
غرينتش / إنكلترا 29، 30، 51
غلادمان 345
الغلاف الجوي الأرضي 373
غلاف جوي رقيق جداً... 408
الغلاف الجوي للمريخ... 384
الغلاف الجوي للمشتري 390
الغلاف الحتاتي 432
الغلاف الضوئي... 116، 160، 172
الغلاف اللوني 160، 171
الغلاف المغنطيسي لزحل 397
غليڤر 385
الغنى 260
غوث (آلن) 298
غور ماريانا 366
غياب الهواء وأي مظاهر جوية على القمر 434

ڤانكوڤر 39
ڤايكينغ 511
فراونهوفر (جنوب ڤون) 117
ڤرجينيا الغربية 93
فرساوس 472
فرسخ ملكي 109
فروق القدر ونسب السطوع 130
فريق مركبة أپولو الأمريكية 433
الفصول على الأرض 44
الفضاء البينجمي 503
الفعالية الشمسية 155، 174
فقدان الكتلة 209
فكرة التوسع الانفجاري 298
فلك البروج 22، 42، 43، 45
فهارس عن مواقع وب... 526
فوبوس (الخوف) 343، 375، 385
فوبوس وديموس قمرا المريخ 386
الفوتون 114
ڤوستوك 511
فوّهات القمر 429
الفوّهات والبحور القمرية 419
فوّهة كلافيوس 429
فوهة كوپرنيكوس 437
فوّهة ميتيور كريتر في أريزونا بالولايات المتحدة 477
فوهة يوتي 382
ڤوياجر = المركبة ڤوياجر
الفويهات 429
في البدء خلق الله السماوات والأرض... 279
في بداية الأمر كان سطح الأرض مضطرباً وناريا 488
في سنة 1910 ذَعِرَ الناس عندما... 470
في كتاب الطبيعة اللانهائي الغامض... 229
فيبي 298، 344
فيرناس كاونتي (فبراسكا) 473
الڤيروس 490
الڤيروس الاعتيادي 489
الفيزياء الفلكية العالية الطاقة 98
ڤيكتور بلانكو 89
ڤيكتوريا بأستراليا 475

قارن حجم القمر بحجم الأرض 426
القارة القطبية الجنوبية 443
القارة القطبية الشمالية 443
قاع حوض هيلاس پلانيشيا الدائري 382
قاع المحيط الأطلسي 371، 417
قانون التربيع العكسي 128
قانون الثقالة 327
قانون ستيفان ـ بولتزمان في الإشعاع 68، 140
قانون فين في الإشعاع 67، 104
قانون كپلر الثالث 324
قانون نيوتن (في الثقالة) 326، 327، 406
قانون هَبلْ 279، 285، 307
القباب القرصية المسطحة 364
قبضة الدب الأكبر 143
قد توجد حضارات أخرى كثيرة 494
قد نكون ـ نحن البشر ـ الحضارة الوحيدة الذكية... 494
القدر الظاهري 28، 129
القدر المطلق (والقدر الظاهري) 131، 132، 146

قرص أسبرين 80
قرص غباري حول النجم 496
القزم الأبيض = النجم القزم الأبيض
قزم أسود (مندثر) 214، 228
القزم البني 138
القشرة (crust وهي الطبقة الخارجية الرقيقة...) 368، 439، 451
القطب الجنوبي 24، 30، 36، 51
القطب السماوي 36
القطب السماوي الجنوبي 24
القطب السماوي الشمالي 54
القطب الشمالي 30، 36، 40، 51
القطب المغنطيسي الجنوبي 372
القطب المغنطيسي الشمالي 372
قطبا عطارد 357
القطر 257
القطر الاستوائي للقمر هو... 426
القطر الزاوي للقمر (البدر) 80، 329
القطع الناقص الإهليلج 325
قطعة من غبار مذنب 469
القلانس الجليدية 382
قلب الأسد 23
قلب العقرب 53، 55، 67، 205
القلنسوتان الجليديتان القطبيتان 412
القلنسوة الجليدية الدائمة عند القطب الشمالي 383
القلنسوة الجليدية عند القطب الجنوبي 383
قلنسوة قطبية بيضاء 376
القمر 131، 343، 419
القمر الأزرق 315
القمر البدر 315، 421، 422، 425
القمر البدر الثاني 315
القمر تيتان 344، 346، 397، 400، 415، 493
قمر زُحل 346
القمر عديم الهواء والماء والحقل المغنطيسي 451
القمر غير ذي حياة 432
القمر الفتي تعرض في غضون المليار السنة الأولى.. 437
القمر في السماء 422
القمر قابل لأن يكون مسرحاً للنشاط الإنساني 433
القمر كارون 345، 409، 410
القمر ليس له غلاف جوّي أو ماء 425
القمر المحدودب المتنامي 315
القمر منقوب بفوهات (crater) في سطحه 429
القمر هو التابع الطبيعي الوحيد للأرض 314
(القمر) يأفل كل يوم 422
القمر يبزغ من جهة الشرق... 422
القمر يتحرك بالنسبة إلى الشمس يومياً 422
قمرا المريخ 385
قمة إڤرست 365، 436
قمة البركان الهاجع ماوناكيا 75
قمة جبل غراهام، أريزونا 88
قمة ماوناكيا في هاواي 97
القنابل الهيدروجينية 201
القنوات 377
قوانين الإشعاع 67
قوانين الحركة الثلاثة 327
قوانين الحركة الكوكبية 323
القوانين الطبيعية التي تحكم الظواهر الفيزيائية والكيميائية... 486
قوانين كِپْلر 323، 326، 327
قوانين نيوتن (في الحركة) 326، 328، 331
القوس (الرامي) 23
قوة التكبير 80، 81
قوة الثقالة 277، 326
القوة النهائية (F) 326
قياس انشطار خط زيمان الطيفي 175
قياس التداخل 95
قياس الخيال 77
قياس لقطر الأرض 444
قياس المرآة أو العدسة الرئيسية ونوعيّتها 105
قياسات النجوم وكثافاتها 140
قيفاوس 24
قيم تقريبية لمعطيات مجرية 257

الكابي 142
كارتر (جيمي) 485

كاركوشا / ڤوياجر (2) 345
كارمي 343
كارون = القمر كارون
الكاسرة 71
كاسيني 344، 397
كاشف الطيف 91
كاڤيلارز 345
الكالسيوم 206
كاليبان 345
كاليبسو 344
كاليستو 343، 346، 386، 392
كاليفورنيا 95
كانت (عمانويل) 159
كانتا 179
كانون (آني) 118
الكائنات الحيّة 380، 492
كائنات ذكية 494
الكائنات المتعددة الخلايا 491
كائنات من قبيل البكتريا 490
كِپْلر (يوهان) 309، 323، 348
كت پيك 167
كتب للمؤلفة دينال. موشيه 520
كتل بعض نجوم التسلسل الرئيسي النموذجية 139
الكتل الذهبية 138
الكتلة (mass) 138، 239، 257، 351
كتلة زحل تفوق كتلة الأرض 95 مرّة... 396
كتلة الشمس (أو MO اختصاراً) 138
كتلة القمر 426
الكثافة الحرجة 295
كثافة الغاز 125
كثافة القمر 426
الكربون 206، 225، 486
الكرسي 24
كرسي المصور بيتا 495
الكرة السماوية 20
الكرة الضوئية 116
كرة اللون 160
الكرة المغنطيسية 372، 373
كرة النار أو الشهاب الوهاج 470
كرة النار البدائية 287
كريستي (جيمز) 345، 409
كريسيدا 344
الكسوف 446
كسوف جزئي 441
الكسوف الحلقي 441، 442
كسوف زائف 168
الكسوف الكلّي للشمس 160، 161، د18، 440
الكسوف الكلي (يحدث مرة واحدة كل 360 سنة) 442
الكشاف الطيفي فوق البنفسجي البعيد 100
الكشف عن مظهر الكون 293
كلافيوس 429
الكلب الأكبر 67
الكلف الشمسي 184
كليمانتين 439
كم عمر أقدم صخور القمر... 449
كم كيلومتراً (ميلاً) تمثل السنة الضوئية الواحدة؟ 64
الكمدة 403
كنالي 377
كندا 52
الكنيسة الرومانية الكاثوليكية 340، 323
الكهرساكنة 393
الكهرطيسي (الكهرطيسية) 58، 61، 364
الكوزار (279 - 51 QOO) البعيد جداً 268
الكوازر (الكوازرات) 92، 259، 271، 276
كوازرات غامضة 267
الكواكب 317، 336، 353
الكواكب أجرام تدور حول النجوم مباشرةً 310
الكواكب الأرضية 337
الكواكب التسعة السيارة 336
كواكب تطوف حول نجوم غير الشمس 510
الكواكب الثانوية 310
الكواكب السفلية 312
الكواكب الطوّافة 160
الكواكب العلوية 312، 375
الكواكب العملاقة 337، 346
كواكب غير مرئية 497

الكواكب القريبة 492
كوال 343
كوپرنيكوس (نيكولاس) 309، 320، 323، 348، 429
كورديليا 344
الكوكب أخفض كتلةً وحرارة من النجم 311
كوكب الأرض 210، 334، 343، 350، 365، 413، 414، 481
كـوكـب أورانــوس 312، 333، 336، 3444، 345، 350، 400، 401، 403، 405، 409، 412، 414، 415
كوكب أورانوس لا يتبع المسار الذي... 406
كوكب بلوتو 175
كوكب زحل ـ شأن المشتري ـ كرة غازية هائلة... 396
كوكب زحل كما يبدو من الأرض 394
كـوكـب الـزهـرة 131، 210، 312، 313، 317، 319، 322، 334، 339، 350، 357، 358، 360، 412، 413
كوكب الزهرة في مداره 359
كوكب صَدَمَ الأرض 437
كـوكـب عـطـارد 210، 312، 313، 317، 334، 350، 354، 355، 358، 412
كـوكـب الـمـريـخ 22، 210، 312، 313، 317، 319، 320، 335، 342، 343، 350، 375، 376، 381، 412، 413، 414، 493
كوكب المشتري 310، 312، 313، 317، 318، 319، 333، 335، 342، 343، 350، 386، 387، 412، 414، 415، 464، 493
كواكب مشتقة من... 317
كـوكـب نـپـتـون 181، 312، 333، 336، 339، 342، 345، 350، 405، 406، 408، 409، 412، 415
كوكب نپتون كما صورته مركبة الفضاء ڤوياجر 405
الكوكب يتحرك بحيث... 324
كوكبات 22
كوكبة (أبو سيف) 251
كوكبة الثور 318
كوكبة الجبار 127، 140، 471
كوكبة الدب الأكبر 26، 142
كوكبة الدجاجة 133، 142، 223
كوكبة الطوقان 17
كوكبة فرساوس 143، 471
كوكبة الكلب الأكبر 142
كوكبة المثلث 261
كوكبة المرأة المسلسلة 252
كوكبة هِرَقل (الجاثي) 184، 505
كولومبيا البريطانية 89
كولينْز / ڤوياجر (1) 343
الكون 14، 279
الكون لن يتوسع لا نهائياً كما أنه لن ينكمش 294
الكون متجانس ومتنام 286، 308
الكون المتوسع 281
الكون المرصود كما يبدو اليوم 302
الكون مستمر في التوسع إلى ما لا نهاية 288
الكون مغلق 289
الكون واحدٌ لا يتغير في كل مكان وزمان 291
كوبير 344، 345
كويكب 1 سيريز 342
الكويكب (951) غاسپرا 340
كويكب ڤيثون 472
كويكب (4) ڤيستا 341
الكويكبات 339، 342
كويكبات آتِنْ 341
كويكبات آمور 341
كويكبات أپولو 341
الكويكبات (asteroids) أو الكواكب الثانوية 339
الكويكبات الساطعة 341
كويكبات النوع (C) 341
كويكبات النوع (M) 341
كويكبات النوع (S) 341
كيدين 470
كيف بدأ العالم؟ وهل سينتهي؟ 302
كيف بدأ الكون؟ وكيفما يتغير بمرور الزمن؟ وماذا سيحل به في المستقبل؟ 280
كيف تتعرّف البروج 26
كيف تستعمل الخرائط النجمية 24
كيف تؤثر ألسنة اللهب الشمسية في الأرض 177
كيف تؤثر الشمس في الأرض 155
كيف نشأ القمر؟ 452
كيف يتغير التركيب الكيميائي للمجرة 258
كيفية بداية الكون وعن مآله 280

لا يبدو الزهرة ملائماً للحياة 492

لا تجد فوق القمر سماء زرقاء أو... 432
لا تزيد ثقالة القمر السطحية على... 426
لا يستطيع علماء الفلك التنبؤ بقرب حدوث فعالية شمسية 174
لا يمكن التنبؤ بمصير المذنب... 462
اللاتجانس 298
اللاتنامي 298
لاريسا 345
لاس كامپاناس، تشيلي 88
لاسيل 344، 345
اللاهوتيون 323
لائحة بالجداول 11
اللب 172، 439، 451
لب الشمس 163، 182
لب النجم 211
اللب (Core) وهو الطبقة المركزية... 368
اللبوب الكثيفة 198
لحساب بُعد أي نجم... 109
لزحل 18 قمراً مؤكداً وعدة أقمار مظنونة 398
لسان لهب 188
لسان اللهب الشمسي 176، 178
اللسينات الشمسية 171
لطالما استهوى القمر بسحره قرائح الشعراء وقلوب المحبين 420
لعطارد قشرة من صخرٍ سيليكاتي خفيف 357
لفظ السديم الكوكبي 228
لكوكبنا حقلاً مغنطيسياً 372
للسرعة الفضائية مركبتان 122
للقمر طبقة خارجية 438
لم تقع الرحلات الفضائية القمرية على أثر لمياه جارية على القمر 428
لماذا تبدو النجوم متحركة... 52
لماذا تضيء النجوم 199
لماذا تعود المذنبات إلى الفضاء الخارجي 462
لماذا سيتغير نجم القطب... 53
لماذا كان الماء مهماً في... 489
لمجرتنا بنية لولبية عصوية 246
لنپتون ثمانية أقمار مؤكدة 407
لو (فرانك) 97
اللولبية (اللولبيات) 232، 257، 278
لوفيرييه (أوربان) 406
لونا (الروسية) 420، 436
لويل (بيرسيڤال) 377
الليثيوم 288
ليدا 343
ليس ثمة مياه تجري ولا زروع تنمو... 432
ليس ثمة نجم يبقى مضيئاً إلى الأبد 194
ليس للقمر حقل مغنطيسي حالياً 439
ليسيثيا 343
ليفيت (هنرييتا) 208

ما الذي يسبب التحبب؟ 171
ما برحت المذنبات الساطعة تردع الناس بسحرها 454
ما بين النجوم 242
ما هو التغيير الذي كان الناس بحاجة إليه 320
ما هو الشهاب؟ 470
ما هو الضوء؟ 58
ما هو مصدر الطاقة الذي يحمل نجوم التسلسل الرئيسي على الإضاءة؟ 202
ما هو النيزك 468
ما هي دائرة البروج؟ 42
ما هي الريح الشمسية 188
ما هي الموجة؟ 59
ما وراء مجرّة درب التبانة 249
ماء إماهة 342
ماجلان (فرديناند) 251
ماخوهات = أجرام هالية متراصة ضخمة
المادة البينجمية (المضيئة) 242، 243، 257، 278
المادة القاتمة الخفية 239
مادة الكتلة المفقودة 296
مادة الكون المرصودة تتألف من... 288
المادة والطاقة 295
ماذا تعني السماء المرصعة بالنجوم؟ 13
مارس 375
مارينر 2 / محاذاة 360
مارينر (10) = مركبة الفضاء مارينر 10

ماضي الكون وحاضره ومستقبله واحدٌ إلى الأبد 291
ماكسويل (جيمز كلارك) 364
ماكسويل مونت 364
ماكولي (مايكل ج.) 500
ماوناكيا (هاواي) 76، 8,
مايرا 209
المبادرة 49
المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية 326
مبدأ الاصطفاء الطبيعي 490، 513
المبدأ الكوني (الكامل) 285، 291
متاحف فضائية 499
المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي (مدينة نيويورك) 473
المتحف الجوي والفضائي الوطني الأمريكي (U,S,) 379
متحف شيكاغو للتاريخ الطبيعي 473
المتطوحات الزرق 236
متغيرات أعجوبة قيطس الطويلة الدور 208
متغيرات الشلياق 208
المتغيرات القيفاوية 207
المتفردة 223
متوسطة كثافة القمر 427
متى دخل أول إنسان الفضاء؟ 502
متى يبدأ نجم بالتحول من نجم تسلسل... 205
مِيتس 390
المثلث الصيفي 27
مجال الأطوال الموجية 63
المجرّات 229، 283
المجرات الإهليليجية 253
المجرات الراديوية 263
مجرات سايفرت (المسماة پرساوس N) 266، 267
المجرات العدسية 255
المجرات غير المنتظمة 254
مجرات قريبة 252
المجرات القزمة 255
المجرات اللولبية (العصوية) 254، 266
المجرات اللولبية النظامية 254
المجرات اللولبية والإهليلجية 257
مجرات متصادمة 276
المجرّات النائية 92
المجرات النشطة 275
المجرتان المتصادمتان (الفأرتان) 265
المجرة 272
المجرة أم ثِرْتي ثري (M33) 261
مجرّة أندروميدا 252، 261
المجرة الإهليلجية النشطة قنطورس (A) 264
المجرة galaxy تجمع عظيم من ملايين بل مليارات النجوم... 230
مجرّة درب التبانة 230، 231، 233، 249، 250، 277
مجرّة راديوية 276
مجرة سايفرت 276
مجرة قنطورس (A) 263
مجرة القوس 264
المجرة اللولبية في كوكبة الدب الأكبر 232
مجرّة المرأة المسلسلة (أندروميدا) 131، 251، 253، 278، 293
المجرية النشطة (AGN) 262
مجرة نظامية 276
المجسطي 319
المجموعات المجرية 259
مجموعة الدب الأصغر 26
مجموعة الدب الأكبر 26
المجموعة الموضعية 261
المجموعة الشمسية 97
محاكم التفتيش 323
محاورة حول نظامي الكون الرئيسيين 323
محتوى المجرة من النجوم 257
محطات فضائية 499
محطة الفضاء الأمريكية سكاي لاب 169
محطة الفضاء سويوز (TM) 501
محطة الفضاء مير (Mir) 501
محللات طيفية متعددة القنوات 507
المحيط الأطلسي 370، 371، 372، 443
المحيط الهادئ 366
مختبر الفضاء الأمريكي (سكاي لاب) 161
مختبر ناسا للدفع النفاث 96

مخطط هبل لخمس مجرات 284
مخطط (مخططات) هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) 135، 136، 137، 140، 146، 147، 194، 199، 237، 273
مخطط هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) غيرتام (لنجوم مختارة) 137، 147
مخطط هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) لحشد الثريا (المجري) المفتوح 240
مخطط هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) للحشد الكربي أم ثري (M3) 241
مخطط هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) للحشد وان (1) تو (2) 274، 275
مخطط هرتز سپرونغ ـ راسل (H - R) يمثل عدداً كبيراً من النجوم 136
مخلفات بَيْكوكبيّة 468
مخلفات المستعرات الفائقة 216
مخلوقات غريبة 503
مخلوقات مريخية ذكية 377
مدار الجدي 46
مدار السرطان 46
مدار القمر حول الأرض 329
المدة بين قمرين جديدين هي... 330
مذنب إنكي 465
مذنب تيمپل ـ تَتِلْ 465
مذنب ساطع نموذجي 480
مذنب طويل الدور 464
المذنب القصير الدور 468
المذنب (المذنبات) الدوري 465، 466، 480
مذنب مركوس بذيلين نموذجيين 461
مذنب هالي (الشهير) 454، 455، 465، 479
مذنب هالي في سبعة أيام مختلفة 467
مذنب هالي نسبة إلى إدموند هالي 467
مذنب وولف 465
مذنب يعقوبيني 465
المذنبات 97، 310، 453، 454
المذنبات (Comets) عناصر جليدية... 454
المذنبات القصيرة الدور 465
المذنبات والشهب والأحجار النيزكية 453
المرآة 71
المرآة أو العدسة الرئيسية 105
المرآة الثانوية 75
المرآة المكافئية القطع 85
مراحل تطور الكون 292
مراحل حياة نجم كالشمس 213
مراحل الكون المغلق (المتأرجح) 290
مراحل الكون المفتوح (نظرية الانفجار العظيم) 289
المراصد الفلكية البصرية الوطنية (NO AO) 527
المراق 37
مراقبة الحقل المغنطيسي للشمس 180
مربع الفتحة 71
مِرَذَّات الهباء المعلَّق 374
مرصد برلين 406
مرصد تشاندرا السيني 100
المرصد الجوي الطبقي... 97
مرصد سميثسون للفيزياء الفلكية 88
المرصد الشمسي الوطني 70
المرصد الفلكي 69
مرصد كومپتون (العامل بأشعة غاما) 6، 99، 100
مرصد كونابران الأنغلو ـ أسترالي 89
مرصد كيت پيك (الوطني) 25، 70
مرصد اليابان الفلكي الوطني 88
مرصد ييركيز 73
مركبات فضائية 360
المركبات الفضائية تنقل المقاريب إلى... 106
المركبات الفضائية الربوطية 332
مركبات فضائية مكوكية 499
مركبات ڤينيرا الفضائية 361
مركبتا السرعة الفضائية: السرعة الشعاعية والحركة الحقيقية 123
مركبة أپولو 419
المركبة الاستطلاعية (MGS) 381
المركبة الأمريكية الربوطية پيونيرا (11) الحلقة (2) 395
المركبة الأمريكية المستكشفة للمريخ (بان فايندر) 379
المركبة الربوطية پروغريس (M) 501
مركبة غاليليو 390

مركبة ڤايكينغ الفضائية الأمريكية 493
مركبة الفضاء الربوطية الأوروبيبة الأمريكية المشتركة يوليسيز 169
مركبة الفضاء الربوطية غيوتو 458
مركبة الفضاء ڤايكنغ لاندر (1) (2) 378، 379
مركبة الفضاء ڤوياجر 332، 333
مركبة الفضاء مارينر (10) 354، 356
مركبة فوستوك (1) 499
مركبة ڤوياجر وان وتو (1، 2) 332، 344، 387، 393، 395، 400، 402، 403، 502
مركز كيت پيك الوطني 89
المريخ: رصده 375
المريخ = كوكب المريخ
مسابير النجوم 502
مسار مذنب عند نقطة الرأس 463
مسار المعطيات التي يبثها مقراب هبل (Hubble) الفضائي 83
المسارات النظرية للتطور... 194، 200
مسارب غبارية عابرة 402
المسافات إلى النجوم القريبة 108
مسبار جوي 387
المستعر (المستعرات) الفائق (1987 A) 212، 215، 216، 217، 228، 252، 256
مستوي فلك البروج 312
مسح مجرتنا 244
مسح مجمل السماء 507، 515
مسّييه (شارل) 250
المشاعل الصغيرة 171
مشاهد غير اعتيادية 40
المشاهد فوق البنفسجية 99
المشتروية 337
المشتري أصغر من القمر... 447
المشتري أكبر من القمر أربعين مرة... 447
المشتري: رصده 386
المشتري = كوكب المشتري
المشتري وزحل 412
مشروع أوزما 505
مشروع ڤوياجر الأمريكي 332
المشهد كما يراه الراصد 20
المشهد الكوني 13
مشهد لمنطقة غرب آيستلا ريجيو 363
مصادر مفيدة 519
مصادر ومواقع وِبْ (Web) مفيدة 7
مصائد نيوترينوات في أعماق الأرض 182
مصباح كهربائي باستطاعة (155) واط 131
مصير المذنبات 466
مضة الهليوم 205
المطال الأعظمي 317
مطالي 65
المطلع المستقيم 31، 54
مظاهر كوكبي الزهرة والمريخ من الأرض 413
مظهارُ (display) قوة الحقل المغنطيسي 175
مظهر القمر 419
مظهران مهمان للمريخ من الأرض 376
المعادلة الموجية 66
معالم مسافات 208
مُعايِر (مُعامل) المسافة 133
معاينة الحقل المغنطيسي 176
المعطف (الغلاف) 368، 439، 451
معطيات 164
معطيات عن القمر 427
معطيات لنماذج أقدار منتخبة 131
معظم النجوم تتحول من... 207
معلومات عامة عن الكواكب 336
معلومات عن الحياة المهنية 521
مغنطيسية (الأرض) 175، 372
مفعول الحافة القاتمة 160
مفعول الدفيئة 362
مفعول زيمان 125
مقارنة القمر بالأرض 419
المقاريب 72
مقاريب أشعة غاما 98، 166
مقاريب الأشعة فوق البنفسجية ultraviolet والسينية 98
المقاريب البصرية 71، 94
المقاريب تحت الحمراء 97، 98، 166

المقاريب الراديوية (العملاقة) 92، 93، 94، 166
المقاريب السينية 166
مقاريب شمسية بصرية 166
مقاريب شميدت ـ كاسيغرين 85
المقاريب الصغيرة الخاصة بالهواء 85
المقاريب العاكسة (مقابل المقاريب الكاسرة) 74، 76
المقاريب العملاقة 102
المقاريب فوق البنفسجية (والسينية والغامية) 100، 166
المقاريب الكاسرة 73
المقاريب المركبة 86
المقاريب مكستوف ـ كاسيغرين 85
مقايسات (في الأقمار) 134، 346
مقايسة الحشود 229
المقتفيات الفلكية 98
مقدرة تجميع الضوء 71
مقدرة الفصل (المَيْز) 78
المقدمة المنطقية 285
مقراب آريسيبو (Arecibo) الراديوي 497
المقراب الأنغلو ـ أسترالي 89
مقراب بولشوي السمتي الارتفاعي 89
المقراب جسميته 71
مقراب جوجر إيليري هيل 89
مقراب جيميني نورث وجيميني ساوث 88
مقراب دوبسون 85
مقراب (VLA) راديوي 93، 95، 103
المقراب الراديوي العملاق في آريسيبو پورتوريكو 505
مقراب السمت الكبير 89
مقراب سوبارو 88
مقراب (R.R.Mc Math - Pierce) الشمسي البصري 167
مقراب شميدت ـ كاسيغرين 75
المقراب العاكس ـ الكاسر 85
المقراب العملاق... 86، 88
مقراب غرين بانك 93
مقراب ـ فك ثنائية نجمية مرئية 142
مقراب كاسر (بعدسة جسمية...) 74، 76
مقراب كاسيغرين 75
مقراب كيك (Keck في هاواي) 75، 87
مقراب كيك I وكيك II 88
مقراب ماجلان I وماجلان II 88
مقراب ماونت پالومار 77
مقراب ماونْتْ ويلسون 255
المقراب المتعدد المرايا (MMT) 88
المقراب المنظاري الكبير 88
مقراب نيكولاس ميوول 89
مقراب نيوتن 74، 75
مقراب هبل الفضائي 83، 525
مقراب هوبي ـ إيبرلي 88
مقراب ويليام هيرشل 89
مقياس الضوء 28
مقياس طيف حساس 125
مكتشفات واعدة 486
مكدونالد، قمة جبل فوكيز، تكساس 88
المكسيك 520
مكوك الفضاء أتلانتيس 500
مكوك فضائي 511
المليبار 375
من المحتمل أيضاً أن تكون الحياة قد وجدت على كوكب مجاور 492
منابع أشعة غاما 246
المنابع السينية (المتفجرة) 103، 246
المنابع المرئية الباردة نسبياً 103
مناطق التجمعات الغازية الكثيفة 246
مناطق التكون النجمي 97
مناطق الشمس 162
المناظير 72
منبثق الشهب 471
المنبع (المنابع) الراديوي 92، 96، 267
منتجات ناسا 526
منحنى إشعاع الشمس 68
منحنى الضوء 207
منشأ السمات المميزة للأصناف الطيفية 121
منشأ خطوط الامتصاص القاتمة المقابلة لخطوط... 115

منشأ القمر 419
منشأ الكواكب 311
منشأ المجموعة الفريدة من خطوط الإصدار... 114
المنشأ المحتمل للمذنبات 464
منشأ المذنبات 462
منشأ النجوم 195
منشورات دوريّة 519
المنطقة الاستوائية 396
منطقة الإشعاع المتراصّة 163
منطقة الحَمْل 163
منطقة H 11 (سديم الإصدار الساطع) 242، 243
المنطقة الصالحة للعيش حول الشمس تقع على وجه
التقريب بين مداري الزهرة والمريخ 492
المنظار ثنائي العينية 72
منظمات ووسائط ومراجع فلكية عامة 527
منظومات كوكبية خارج نطاق المنظومة الشمسية 495
المنظومات النجمية (مزدوجة) 141، 230
المنظومة الشمسية 14، 16، 277، 309، 346
منظومة المقاريب تحت الحمراء الفضائية 97
المنقلب الشتوي 46، 52
المنقلب الصيفي 46، 52
منكب الجوزاء 67، 138، 146، 150، 204
مواقع الكواكب 323
مواقع النجوم 234
مواقع وِبْ (web) 32
الموجة (Wave) 58، 59
موجة صدم 196
موجة الضوء (Light wave)... 58
المؤرخون 323
مؤسسات وجمعيات فلكية 522
موشور 91
موشيه (دينال) 520
موقع كيت پيك 70
موقع المنظومة الشمسية في مجرّة درب التبانة 16
مياه جارية على القمر 428
الميتا 405، 459
ميتيس 343
ميتيور كريتر 476
ميراندا أحد أقمار أورانوس 344، 402، 403
ميراندا ـ أصغر الخمسة 403
ميراندا / أورانوس 415
ميرتشسن 475
الميزان 23
الميقاتيات الذرية 338
ميكروبات كربونية التركيب 493
الميل 54
ميل كوكب بلوتو 312
ميلان كوكب أورانوس 403
ميلان محور الأرض... 44
ميلوني 343
ميماس 344، 398

ناسا = وكالة ناسا
نباض السرطان 220
نباضات الميلي ثانية 497
نپتون = كوكب نپتون
نپتون أَسَرَترايتون في حقبة ما 409
نپتون أصغر الكواكب الغازية العملاقة 406
نبذة تاريخية 319
نترونات 219
نجم أپسيلون أندروميدا (المرأة السلسلة) 497
نجم الإزار 142، 143
نجم ألبيريو 142
نجم أوّلي وليد 228
نجم إيه (a) (حَضَار) 52، 110، 131
نجم بارنارد 134، 135
نجم بارنارد الحوّا والحوّية 496
النجم الثنائي 141
النجم الثنائي القياسي 148
النجم الثنائي الكسوف 148
نجم ذنب الدجاجة 27، 28، 132 ـ 133
النجم ذو اللون المائل إلى الزرقة أشد حرارة 104
نجم رِجْل الجبّار 127
نجم السُّها 143
نجم شبيه بالشمس 204
نجم الشعرى اليمانية (الساطع) 49، 111، 131 142

نجم الصباح 353
نجم الفرس الأعظم 497
نجم قريب 110
النجم القزم الأبيض 212، 214
نجم القطب 28، 36، 38، 49، 52، 53، 118، 208
نجم القطب ليس من سواطع النجوم 37
نجم قلب الأسد 27
نجم قنطورس القريب 110
النجم مايرا (أي الأعجوبة) 208
نجم متغير 214
النجم المتغير (RR) في كوكبة الشلياق 208
النجم المزدوج البصري 143، 148
نجم المساء 353
النجم النابض 220
النجم النابض أو النجم النتروني 220
نجم نتروني 219
نجم النسر الواقع vega 27، 28، 39، 40، 50، 52، 53، 54، 55، 67، 118، 132، 133، 137
نجم هاو 468
النجم الوليد 16
النجمان الدليلان 37، 38
نجمان ساطعان 133
النجوم 67، 107
نجم أكبر كتلة من الشمس بكثير 199
النجوم التي تبدأ حياتها بكتل متقاربة... 199
نجوم (M) 119، 122
النجوم الباردة 68، 97
نجم بارنارد 138
نجوم التسلسل الرئيسي 199، 202
نجوم الجمهرة 247، 248
النجم (G) 122
النجوم الحارة 68
النجوم الحمراء الباردة (من الصنف M) 121
النجوم حول ـ القطبية الجنوبية 38
نجوم الخلفية 42
النجوم الخمسة (5) 51، 119، 122
النجوم الراديوية 219
النجوم الزرقاء الحارة (من الصنف 5) 121، 258
النجوم الصغيرة 209
النجوم صنفين (جمهرتين) 247
النجوم الضيائية 127
النجوم العمالقة الحمر باردة نسبياً لكنها مضيئة 151
النجوم العملاقة الزرق الكبيرة الكتلة 202
نجوم عملاقة زرقاء 136
النجوم الفائقة الكثافة 219
نجوم فوق عملاقة 146، 204
نجوم قزمة حمراء 136
النجوم الكبيرة 209
النجوم كرات غازية عظيمة متّقدة 149
النجوم كرات غازية عظيمة مضطرمة 116
نجوم كشمسنا 199
النجوم لها أكاليل متشابهة 183
النجوم المتغيرة 206
النجوم المتماثلة التركيب الكيميائي... 199
النجوم المرئية 47، 119
النجوم المنفجرة 215
النجوم النباضة أو النباضات 92، 219
النجوم الواقعة ضمن 38
النجوم والغازات الحارّة جداً 103
نجمي الصباح 358
نجمي المساء 358
النجمية في كوكبة الدب الأكبر 37
النجمية القياسية 142
النجود القمرية 429
نساء خالدات... 363
النسر الطائر 27، 134، 135
النسر الواقع vega = نجم النسر الواقع vega
النشادر 459
نشاط الأرض الجيولوجي 368
النشاط العنيف للشمس 184
نشاط غير اعتيادي في المجرات 262
نشأة مجرّتنا 248
نشوء الحياة الذكيّة على الأرض... 509
نشوء المذنبات الدورية 483
نشوء الذؤابة 460
النظام البطليموسي 320، 322

نظام كوپرنيكوس 323
النظام الكوبرنيكي 320
نظريات التطور النجمي 237
نظرية الانجراف القاري 370
نظرية الانفجار العظيم 280، 287، 288، 289، 290، 296، 298
نظرية آينشتاين النسبيّة 221، 269
نظرية التطور الكوني 488
نظرية التطور النجمي (الحديثة) 194، 243
نظرية تكوتونيات الصفائح أو الألواح 369
نظرية الحالة المستقرة 291، 292
نظرية السديم الشمسي 159
النظرية السديمية 159، 160
نظرية كوپرنيكوس 320، 321
نظرية النسبية العامة 296
نقطة الأوج 329
نقطة الحضيض 329
نقطة الرأس (الأوج) 341، 479
نماذج الكون المفتوح والمنبسط والمغلق 280
النماذج الكونية الثلاثة 305
نماذج المجرّات القياسية 256
نماذج من مجرات مختلفة الأصناف 255
نموذج آينشتاين ـ دوسيتر 299
النموذج الأرضي المركز للكون 319
نموذج الانعراج = الانعراج
نموذج الانفجار العظيم 280
نموذج بور الذّرّي 113
النموذج التطوري 280
نموذج الحالة المستقرة 280
نموذج الكرة الأرضية 30
نموذج كرة الثلج الملوثة 457، 458
نموذج الكرة السماوية 31
نموذج الكون الانفجاري التوسع 298
نموذج الكون المتأرجح 289
نموذج الكون المغلق 289
نموذج الكون المفتوح 288
نموذج الكون المنبسط 294
نهر تنغوسكا 477
نهر الجحيم 409
النوافذ البصرية 69
النوافذ الثلاث 102
نواميس الكون 48
نواة 113، 456، 457، 483
نواة سايفرت 266
النواة سوداء قاتمة 482
نواة المذنب 459
النوتي 409
نور الربع الأول 315
نوى الهيدروجين 287
نياو 345
النيازك 468
نيريد 345
نيزك 480
نيكولسون 343
النيوترينوات (الشمسية) 182، 188، 216
نيوتن (إسحاق) 309، 326، 327، 348
نيوزيلندا 520
نيومكسيكو الأمريكية 94، 96
نيويورك 51

ها إنك تبزغين بديعة وضاءة... 153
الهالة القمرية 422
هالة مجرية 241
هالي (إدموند) 467
هاواي 96
هايپيرون 398
هايدراد الشجاع 293
هايغنز 344، 397
هبّات عنيفة من الريح الشمسية 181
هبل (إدوين) 250، 283
هرتز (هاينريش) 65
هرتزسپرونغ (إجنار) 135
الهرطقة 323
هل ثمة حياة خارج حدود الأرض؟ الله أعلم! 485، 486
هل هناك نجوم جديدة ما زالت تولد اليوم؟ أين؟ 196
هليوس 154

الهليوم (المتأين) 119، 122، 145، 202، 216، 218، 225، 248، 249، 356، 388، 405
هناك حياة في أماكن أخرى 487
الهند 443
الهواء 373
هوبكنز (جيرارد مانلي) 107
هول (أساف) 343، 385
هوندا ـ مركوس ـ پاجيروساكوڤا 468
هيپارخوس 28، 110
الهيدروجين 119، 122، 202، 216، 218، 225، 248، 249، 338، 356، 388، 405. 459، 488
الهيدروجين الثقيل 288
الهيدروجين الجزيئي 246
هيدروجين ذري محايد 242
الهيدروجين المعدني السائل 389
هيرشل (ويليام) 344، 400
هيلين 344
هيماليا 343
هيوستن 22
الهيئة الدولية لمراقبة دوران الأرض 338
هيپيرتون 344

وابل الجبار 471
وابل الدب الأصغر 472
وابل الدَّلو 472
وابل شُهُب (فرساوس) 470، 471
واحدة الأنغستروم 59
الواحدة الفلكية (AU) هو... 189
واحدة النانومتر 59
وِبْ (Ewb) = مواقع وِبْ (Ewb)
وجدت أول الأسماك في البحار منذ نحو (425) مليون سنة 491
وجدت جزيئات الحياة الأساسية في الفضاء 487
الوجه البعيد من القمر... 431
الوجهة المحلية للكرة السماوية عند خط العرض شمالاً 36
وجود حياة في عوالم أخرى 487
وسائل معززة للمقراب 90
الوسخ 458
الوسط البينجمي 242
وصف أحوال سطح القمر في موقع هبوط مركبة أپولو عليه 419
وصف عام 310
وصف المعالم العامة لسطح القمر 419
وضع الاقتران 376
وضع التقابل 375
وضع التقابل الذاتي 376
وضع تقابل مؤات 377
وقود الهليوم 209
وكالة الفضاء الأوروبية 458
وكالة ناسا 95، 526
ولادة القمر وطريقة نشأته 436
ولادة نجم 196
الولايات المتحدة 95، 96، 182، 364، 397، 499، 520
وِمبات = جسيمات كبيرة ضعيفة التآثر
الوهج الأرضي 315
وهج النهار 401
وييل (فْرِدْ) 457
ويلاميت (أوريغون) 473
ويلسون (روبرت) 297
ويليامزبي 73
وينسلو شمالي ولاية أريزونا الأمريكية 476

اليابان 182
يبلغ حجم أكبر قمرين: تيتانيا وأوبيرون... 404
يبلغ حجم البقعة الشمسية الاعتيادية حجم الأرض 172
يبلغ الحد العملي للتكبير المجدي... 81
يبلغ طول اليوم الشمسي... 48
يبلغ طول اليوم النجمي... 47
يبلغ عمر أقدم النجوم نحو 13 ـ 18 مليار سنة 248
يبلغ الغلاف المغنطيسي لزحل زهاء... 397
يبلغ قطر بحر الوابلات 429
يبلغ قطر الشمس... 140
يبلغ متوسط القطر الزاوي للقمر... 329
يتألف غاينميد وكاليستو من... 392

يتألف الڤيروس... 489
يتألف المذنب من... 466
يتحرك خط شروق الشمس الفاصل من... 430
يتركب الهواء اليوم من... 373
يتعذر على الڤيروس توفير طاقته الذاتية أو استنساخ نفسه خارج الخلايا الحية 489
يتغير مظهر القمر بانتظام كل شهر 314
يتغير نجم القطب بمرور الزمان 50
يتوقع لشمسنا ـ شأن سائر النجوم ـ أن... 205
يحدث الخسوف القمري عندما تقع الشمس والأرض... 442
يحدث وابل الشهب عند... 471
يحيط بالأرض غلاف جوي... 373
يخشى كثير من الناس حدوث تصادم كارثي مدمّر 341
يُرى أكبر البقع الشمسية عند بزوغ الشمس 172
يزن أكبر حجر نيزكي... 473
يزيد طول اليوم الشمسي على اليوم النجمي... 48
يستبعد أن يكون القمر فيما مضى جزءاً من الأرض... 436
يستمد نجم التسلسل الرئيسي طاقته من... 159
يستمر اندماج الهيدروجين... 203
يسرِّع الماء التفاعلات الكيميائية... 489
يضيء كوكب الزهرة بسطوع شديد... 360
يضيء كوكبنا الأرض... 365
يطوف الزهرة ـ شأن عطارد ـ حول الشمس... 357
يطول على القمر ليله ونهاره 432
يُعدُّ القمر تابعاً كبيراً جداً... 426
يقع (القمر) على بعد 384,400 كم 420
يقع القمر عند بزوغه في برج نجمي معين 422
يقع المريخ ضمن المنطقة الشمسية الصالحة للعيش 513
يكشف المنابع الراديوية 105
يكون المريخ أقرب إلى الأرض... 376
يكون مسار الشمس عبر السماء في دورته صيفاً... 44
يمكنك توليد طيف من ضوء الشمس... 91
يمكنك عد نجوم التسلسل الرئيسي 199
يميل مستوى مدار القمر 447
ينتشر ضوء النجوم... 104
ينتمي كوكب الأرض إلى المنظومة الشمسية 14
ينثر انفجار المستعر الفائق كل... 216
ينزاح اتجاه محور الأرض... 49
ينشر القمر نوره بانعكاس ضياء الشمس عليه 421
ينطلق ضوء النجم الذي... 116
ينفرد پلوتو بأغرب مدار... 410
يوليسيز 169
اليوم 47
اليوم الشمسي 20، 47، 48
اليوم الفلكي النجمي 47
اليوم النجمي 48